

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Alojzij Blatnik

**Zaznavanje utrujenosti očesa
na podlagi mežikanja**

MAGISTRSKO DELO
ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: prof. dr. Branko Šter

Ljubljana, 2016

Rezultati magistrskega dela so intelektualna lastnina avtorja in Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavljanje ali izkoriščanje rezultatov magistrskega dela je potrebno pisno soglasje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

IZJAVA O AVTORSTVU MAGISTRSKEGA DELA

Spodaj podpisani Alojzij Blatnik sem avtor magistrskega dela z naslovom:

Zaznavanje utrujenosti očesa na podlagi mežikanja

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem magistrsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom prof. dr. Branka Štera,
- so elektronska oblika magistrskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko magistrskega dela,
- soglašam z javno objavo elektronske oblike magistrskega dela v zbirki "Dela FRI".

V Ljubljani, 8. avgusta 2016

Podpis avtorja:

*Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Branku Šteru za usmerjanje pri izdelavi
magistrskega dela. Zahvaljujem se tudi Damjani Blatnik za lektoriranje.*

Kazalo

1	Uvod	1
1.1	Splošna priporočila za delo z računalnikom	2
1.2	Opis problema	2
1.3	Načini zaznave splošne utrujenosti	3
1.4	Zaznava utrujenosti očesa na podlagi mežikanja	3
1.5	Pregled področja	6
1.6	Prispevki magistrskega dela	10
1.7	Zasnova aplikacije	12
2	Metode za zaznavanje mežikov	13
2.1	Metoda zaznavanja premikov na območju oči	13
2.2	Metoda ujemanja s predlogo odprtega očesa	21
2.3	Metoda zaznavanja količine črne barve na območju oči	27
3	Rezultati	35
3.1	Opis baz	35
3.2	Metoda zaznavanja premikov na območju oči	36
3.3	Metoda ujemanja s predlogo odprtega očesa	45
4	Zaključek	51
5	Dodatek	57
5.1	Metoda zaznavanja premikov na območju oči	57
5.2	Metoda ujemanja s predlogo odprtega očesa	69

Seznam uporabljenih kratic

angleška kratica	angleško	slovensko
JNI	Java native interface	vmesnik, ki omogoča klice med Javo in drugimi jeziki
CVS	computer vision syndrome	sindrom računalniškega vida
LBP	local binary patterns	lokalni binarni vzorci
EEG	electroencephalography	elektroencefalografija
IR	infrared	infrardeče valovanje
ROI	region of interest	območje zaznavanja
PERCLOS	percent eye closed	odstotek, ko so oči zaprte
CPU	central processing unit	procesor
RAM	random-access memory	bralno-pisalni pomnilnik
KLT	Kanade-Lucas-Tomasi	Kanade-Lucas-Tomasi
SNR	signal to noise ratio	razmerje med signalom in šumom

slovenska kratica	slovensko	angleško
PP	pravilno pozitiven	true positive
NP	napačno pozitiven	false positive
NN	napačno negativen	false negative

Povzetek

V magistrskem delu smo preučili možne rešitve zaznavanja utrujenosti očesa na podlagi mežikanja. Ugotovili smo, da obstaja več tehničnih rešitev, s katerimi je možno zaznati mežike. Rešitev, ki zaznava mežike z obdelavo zaporednih sličic s kamere, je za uporabnika najmanj invazivna in ne zahteva dodatne strojne opreme, zato smo preučili več metod tovrstne rešitve. Metoda, ki nam je dala najboljše rezultate, analizira premike na dveh zaporednih sličicah. Druga metoda, ki daje prav tako zadovoljive rezultate, zaznava mežike na podlagi ujemanja med predlogo odprtega očesa. Tretja metoda, ki smo jo preizkusili, zaznava količino črne barve na območju oči. Pri tej metodi se je izkazalo, da se količina črne barve ne zmanjša dovolj, da bi lahko na podlagi tega zaznavali mežike. Ob mežikih se površina trepalnic poveča in s tem vpliva na količino črne barve na območju oči.

Za tovrstne metode smo izdelali ogrodje, ki v eni niti zajema sličice z maksimalno hitrostjo kamere in jih shranjuje na koncu povezanega seznama. V drugi niti pobira sličice z začetka povezanega seznama in jih posreduje metodi za procesiranje. To omogoča zaznavanje kratkih mežikov in uporabo metode, ki ne teče ves čas v realnem času. Ko metoda zazna majhno število mežikov, obvesti uporabnika z zvočnim signalom. Rešitev smo izdelali za osebni računalnik z operacijskim sistemom Linux in za pametni telefon z operacijskim sistemom Android.

Ključne besede: zaznavanje utrujenosti očesa, mežik, pametni telefon, računalniški vid, OpenCV

Abstract

This master thesis analyses possible approaches for eye fatigue detection based on eye blinking. We have found multiple approaches for eye blink detection. The approach based on consequent images acquired from a video camera is the least invasive for the user and does not require additional hardware, hence we analysed multiple methods of this approach. The method which gave best results detects eye blinks by analysing movements on two consequent images. The second method which also gives satisfactory results detects eye blinks using open eye template matching. The third method detects eye blinks by analysing the amount of black color in the eye region. This method showed that the amount of black color does not decrease enough to reliably detect eye blinks, since the surface of eyelashes increases the amount of black color in the eye area when the eye is closed.

For these methods we have built a framework which in one thread captures images at maximum speed of the camera and saves them at the end of a linked list. In the second thread, the framework takes the images from the beginning of the linked list and transmits them to the method for processing. That makes it possible to detect very short eye blinks and to use a method which does not run in real time all the time. When the method detects low eye blink rate, it informs the user with an audio signal. We developed a solution for personal computers with the Linux operating system and smartphones with the Android operating system.

Ključne besede: eye fatigue detection, blink, smartphone, computer vision, OpenCV

Poglavje 1

Uvod

Dandanes, ko uporabljamo računalnike in pametne telefone po več ur na dan, trpi večina ljudi zaradi sindroma računalniškega vida (angl. computer vision syndrome – CVS). Pogosti znaki CVS so glavoboli, bolečina v vratu in ramenih, suhe oči, solzenje, napetost oči, pordelost oči, pekoč in žgoč občutek v očeh ter zamegljen vid [1]. Raziskave so pokazale, da je verjetnost pojavitve CVS 90-odstotna, če uporabljamo računalnik več kot dve uri na dan [1, 2, 3]. K tem znakom dodatno prispevajo nepravilna drža, neustrezna postavitev delovnega okolja (odsev na zaslonu), nezadostno sproščanje očesnih mišic in nezadostno mežikanje [4].

Kadar gledamo v zaslon, ki oddaja svetlobo s kratke razdalje (računalniški zaslon, pametni telefon, tablica), se zmanjša mežikanje tudi do 60 % [3]. V delu [5] so izmerili, da je normalna frekvenca mežikanja $22 (\pm 9)$ mežikov na minuto, ob branju knjige $10 (\pm 6)$ mežikov na minuto in ob delu z računalnikom $7 (\pm 7)$ mežikov na minuto. Ugotovili so tudi, da je hitrost izsuševanja očesne prevleke večja pri bolj odprtih očeh. V njihovem eksperimentu so imeli ljudje ob uporabi računalnika široko odprte oči, ob branju knjige pa bolj priprte. V delu [6] so ugotovili, da utrujeno oko mežika skoraj dvakrat redkeje, zapiranje utrujenega očesa pa je skoraj dvakrat počasnejše. Prihaja tudi do tega, da mežiknemo večkrat zapored (angl. short bursts). Tovrstno pomanjkanje mežikanja povzroča suhe oči, kar je glavni dejavnik za pojavitve sindroma CVS [3].

1.1 Splošna priporočila za delo z računalnikom

Če uporabljamo računalnik več ur dnevno, moramo upoštevati priporočila, kot so primerna višina in oddaljenost zaslona, primerna drža na stolu, ustrezna velikost in kontrast besedila, preprečevanje odseva na zaslonu in podobno [1]. Poleg ustrezne ergonomske postavitve delovnega okolja je za zdravje oči pomembno, da delamo pogoste premore, s katerimi ponovno navlažimo in sprostimo oči. Ena izmed vaj, ki jo priporočajo v [1], se imenuje 20–20–20. To pomeni, da vsakih 20 minut pogledamo na razdaljo 20 čevljev (6 metrov) za 20 sekund. Če imamo že preveč izsušene oči, jih lahko navlažimo z umetnimi solzami. Odseve na zaslonu in barve je možno omiliti z očali za delo z računalnikom (angl. computer glasses). Ta očala imajo različne premaze. Z antirefleksnim (protiodbojnim) premazom zmanjšamo odsev na zaslonu in s tem zmanjšamo napor očesnih mišic. S premazom, ki doda barvni odtenek (običajno rumene barve), ojačamo barvne kontraste in preprečimo neželene valovne dolžine [7, 8]. Očem bolj prijetne barve lahko dosežemo tudi s programsko opremo, kot sta Redshift in f.lux [9, 10]. Ta programska oprema prilagodi temperaturo barve na zaslonu, tako da ustreza trenutnemu času (dan / noč).

1.2 Opis problema

Čeprav so vaje, s katerimi sprostimo in navlažimo oči, zelo enostavne (npr. vaja 20–20–20), uporabniki računalnikov zaradi osredotočenosti na delo (angl. flow) pogosto pozabijo delati premore, s katerimi bi sprostili očesne mišice in navlažili oči [6]. V delu [6] so ugotovili, da obstaja programska oprema, kot so časovniki in aplikacije, ki beležijo aktivnost uporabnika na podlagi aktivnosti miške in tipkovnice. Uporabniku priporoči, kdaj naj naredi premor. Vendar pa ima tovrstna programska oprema precejšnje pomanjkljivosti pri zaznavanju nezdravih vzorcev, kot je na primer strmenje v zaslon. V magistrskem delu smo izdelali prototip aplikacije, ki naj takrat, ko zazna pri uporabniku nezdrave vzorce mežikanja, le-tega obvesti, naj naredi

premor. Seveda je zaželeno, da uporabnik razvije disciplino in redno sprošča oči. V tem primeru aplikaciji ne bi bilo treba obveščati uporabnika, saj ne bi zaznala nezdravih vzorcev mežikanja.

1.3 Načini zaznave splošne utrujenosti

Pri pregledu sorodnih del smo ugotovili, da obstajajo različni načini zaznave splošne utrujenosti človeka. Tovrstni pristopi se uporabljajo predvsem za zaznavo utrujenosti voznikov.

V prvi skupini so pristopi, ki temeljijo na zaznavi zunanjih vidnih dejavnikov, kot so zaznava vzorcev mežikanja, zehanje in gibi glave [11]. Tovrstne dejavnike je mogoče zaznavati zlasti z računalniškim vidom, lahko tudi z Dopplerjevim senzorjem [12].

Alternativni pristopi zaznave utrujenosti temeljijo na merjenju notranjih dejavnikov človeka, kot so EEG, aktivnost mišic, srčni utrip, krvni tlak in dihanje [13].

1.4 Zaznava utrujenosti očesa na podlagi mežikanja

Pri pregledu sorodnih del smo našli dela, v katerih so merili mežike in druge aktivnosti oči z različnimi vrstami strojne opreme. V [12] so uporabili Dopplerjev senzor, ki meri hitrost. Z njim jim je uspelo razločevati spontane in zavestne mežike od ostalih premikov. V delu [14] so merili temperaturo roženice z infrardečim termometrom. Ugotovili so, da se suhe oči ohlajajo občutno počasneje. V delu [15] so uporabili prosojne foto-celice na očalih. Ta pristop omogoča poleg zaznave mežikov še zaznavo premikov oči. V delu poudarjajo, da je za nemoteče delo pomembno, da so očala zelo lahka. Opozarjajo tudi, da je IR-osvetljevanje za boljšo zaznavo oči moteče in lahko tudi škodljivo [15, 16]. Mežike je možno meriti tudi z EEG-senzorjem. Na ta način so v delu [17] poleg drugih parametrov zaznavali tudi mežike. Trenutno je najcenejša nam znana EEG naprava Neurosky MindWave. Stane približno

100 USD, vendar nam ni bila udobna za daljšo uporabo.

1.4.1 Zaznava mežikov v različnih aplikacijah

Pri metodah za zaznavo mežikov, ki uporabljajo računalniški vid, smo opazili precejšnja odstopanja glede na namembnost aplikacije. Pri aplikacijah, ki so namenjene komunikaciji človek – računalnik, so največ pozornosti posvečali natančnosti zaznave dolžine mežikov, saj mora aplikacija znati ločiti spontane mežike od zavestnih [18]. Dodatna omejitev je ta, da mora metoda teči v realnem času, da lahko zagotavlja hiter odzivni čas.

Pri aplikacijah, ki so namenjene zaznavi utrujenosti očesa, pa je bolj pomembno, da ima metoda čim manjše in znano razmerje zgrešenih in napačno zaznanih mežikov. Zaželeno je tudi, da metoda čim bolje zazna kakovost posameznega mežika. Pri aplikacijah, ki se izvajajo na pametnih telefonih ali tablicah, smo opazili, da so uporabniki tovrstnih aplikacij bližje kameri, zato nekatere aplikacije ne uporabljajo zaznavo obraza kot prvi korak, saj ta ni vedno v celoti prisoten. Nekatere aplikacije uporabljajo vgrajen pospeškometer, s katerim izničujejo premike naprav in zmanjšujejo iskalno polje [19]. Aplikacije, ki so namenjene zaznavi utrujenosti voznikov, morajo pravočasno opozoriti voznika, naj naredi premor, saj lahko s tem prepreči nesrečo. Pri aplikacijah, ki so namenjene zaznavi utrujenosti očesa pri delu z računalnikom, ni tako pomembno, kdaj naj aplikacija javi uporabniku, naj naredi premor.

Nedavno so v delu [20] izdelali prototip, kjer so na podlagi mežikanja zaznavali laži. V njihovem primeru je bilo pomembno, da metoda zazna intervale, v katerih oseba skoraj ne mežika, in intervale, v katerih oseba mežikne večkrat zapored. Njihov prototip je zasnovan na eksperimentalni hipotezi, da je oseba med laganjem močno osredotočena (ne mežika). Potem ko oseba pove laž, navlaži oči, tako da mežikne večkrat zapored.

1.4.2 Metode, ki uporabljajo računalniški vid

Metode, ki uporabljajo računalniški vid, delimo na aktivne in pasivne [21]. Aktivne metode osvetljujejo okolje z infrardečo svetlobo in s tem izboljšajo pogoje za delovanje metode. Osvetljevanje z infrardečo svetlobo povzroča rdeče oči, kar omogoča enostavnejšo zaznavo zenice in premikanja oči [21]. Pasivne metode uporabljajo samo kamero.

Metode za zaznavanje mežikov so običajno sestavljene iz več faz. Metoda za nadaljnjo obdelavo navadno zoži območje, na katerem se nahajajo oči. To območje imenujemo območje zaznavanja (angl. region of interest – ROI). Na tem območju uporabljajo metode v zaporednih sličicah različne mehanizme za zaznavo mežikov. Vse rešitve, ki smo jih preučili, so iz zaporedja sličic ustvarile signal. Z amplitudo lahko razberemo dogajanje na posnetku. Cilj metode je ustvariti signal, na katerem so mežiki kar se da očitni. To pomeni tudi, da je na njem najmanjša možna količina šuma. Različne metode ustvarijo različen tip signala, zato uporabimo različne načine procesiranja signala, da iz njega razberemo želene metrike mežika (dolžina, hitrost).

Pri vseh rešitvah, ki smo jih preučili, smo opazili, da je bila metoda izpeljana iz enega izmed naslednjih pristopov:

- zaznavanje količine določene barve na območju oči,
- računanje korelacije na območju oči s predlogo odprtega očesa,
- zaznavanje premikov na območju oči (optični tok),
- zaznavanje premikov posameznih delov oči (položaj veke).

Metode, ki uporabljajo enak pristop, se običajno razlikujejo v tem, da so izdelane za različno namembnost, ali pa se razlikujejo v določenem koraku (priprava slike za procesiranje, način določitve območja zaznavanja, referenčna točka, procesiranje signala).

1.5 Pregled področja

1.5.1 Zaznavanje mežikov

V delu [6] so zaznavali utrujenost očesa z uporabo optičnega toka. Za zaznavanje obraza in oči so uporabili klasifikator AdaBoost iz knjižnice OpenCV, ki so ga izdelali sami. Kadar klasifikator ni zaznal obraza ali oči, so uporabili sledilnik Lucas-Kanade, ki je povedal smer premika obraza od zadnje sličice, kjer je bilo obraz ali oko še mogoče zaznati. Kadar obraza ali oči ni bilo mogoče zaznati več sličic zapored, se je zaznavanje obraza in oči začelo od začetka. Zaznavanje klasifikatorja AdaBoost je bilo uspešno med 95 % in 100 %, s pomočjo Lucas-Kanade so dosegli 100-odstotno natančnost zaznavanja obraza in oči. Računanje optičnega toka se je izvajalo na grafični kartici s pomočjo knjižnice OFLib. Optični tok so računali na površini celotnega obraza. Z informacijo o optičnem toku izven območja oči so kompenzirali premike glave. Tako so izolirali optični tok, ki je bil povzročen zgolj z mežikanjem. Njihova metoda je imela več kot 90-odstotno natančnost zaznave mežikov. Na težave je naletela samo v primerih, ko je uporabnik nenehno izmenjeval pogled gor in dol. Za določitev utrujenosti očesa so se osredotočili na naslednja dva pristopa: število mežikov na minuto in čas zapiranja očesa pri posameznem mežiku. Ugotovili so, da utrujeno oko mežika tudi več kot 40 % redkeje, čas zapiranja očesa se pa poveča za 25 % do 40 %. Za računanje razlik so uporabili enominutno drsno časovno okno.

V delu [3] so predstavili dve metodi. Prva temelji na načelu količine določene barve na območju oči. Za predstavitev kožne barve so uporabili histogram, ki je bil zgrajen na območju obraza in pogosto posodobljen. Na območju oči so računali verjetnost vsebnosti kožne barve, predstavljeno s histogramom. Za izboljšanje delovanja metode so slike obdelali z morfološkimi operacijami (Erode in Open). To jim je pomagalo v primerih, ko so bile oči v senci obrvi ali pa so bile naličene. To metodo so evalvirali z dvema vrstama histograma: histogram S (angl. 1D saturation histogram) in histogram HS (angl. 2D hue-saturation histogram). Pri eksperimentih so opazili, da je hi-

Metoda	Njihova baza		Baza TALKING	
	PP	NP	PP	NP
Histogram S	81,25 %	0,40 %	88,52 %	0,49 %
Histogram HS	75 %	0,32 %	85,25 %	0,47 %
Optični tok	93,75 %	0,05 %	98,36 %	0,20 %

Tabela 1.1: Natančnost metod, izdelanih v [3]. PP - pravilno pozitiven, NP - napačno pozitiven.

stogram HS pogosto drugačen na celotnem območju oči. S histogramom HS ni vidnih znatnih sprememb, kadar se zgodi mežik v zelo temnih prostorih. Veliko zgrešenih mežikov je tudi, kadar uporabnik nosi očala. Napačno zaznani mežiki so pogosti ob spremembi osvetlitve, pogleda, mimike na obrazu (nasmeh) ali zaradi ličil.

Druga metoda je zasnovana na optičnem toku. Obraz in oči so zaznali z uporabo Haarove kaskade (to je kaskadni klasifikator, ki zazna obraz na podlagi Haarovih značilk). Nato so določili naključne točke na območju oči in nosa ter jim nato sledili s sledilnikom Kanade-Lucas-Tomasi (KLT). Točke za sledenje so na novo določili periodično, in tudi, kadar so izgubili veliko točk. Točke, katerim so jim sledili, so razdelili v tri skupine: levo oko, desno oko in območje izven oči. Če so se točke, katerim so sledili na območju oči, premaknile navzdol za več kot (velikost obraza / 165) v primerjavi s točkami izven območja oči, so šteli, da se je zgodil mežik. Avtorji trdijo, da deluje ta metoda znatno bolje od metode [6]. Njihova metoda naj bi zaznala najmanj 3 % več pravih mežikov in približno 18 % manj lažnih.

Obe metodi so ocenili z dvema bazama. Njihova baza je obsegala 8 ljudi v različnih osvetlitvenih razmerah (5 moških, 3 ženske; od preučevanih oseb je ena nosila očala). Druga baza (TALKING) je javno dostopna [22]. Natančnost obeh metod je podana v tabeli 1.1.

1.5.2 Zaznavanje mežikov na pametnem telefonu

Pri pregledu področja smo odkrili samo tri članke [18, 19, 11], katerih avtorji so izdelali metodo za pametni telefon ali tablico.

V delu [18] so poskušali uporabiti enako metodo kot v delu [23], le da bi se ta izvajala na pametnem telefonu Nokia N810. Princip, ki so ga uporabili, je računanje korelacije na območju oči s predlogo odprtega očesa. Naleteli so na več težav, predvsem zaradi treh vzrokov. Pametni telefon ima znatno omejeno računsko moč tako s strani procesorja kot porabe baterije. Omejeni so bili tudi z velikostjo pomnilnika RAM in učinkovitostjo predpomnjenja. Uporabnik aplikacije na pametnem telefonu je od kamere oddaljen znatno manj kot uporabnik računalnika. To pomeni, da obraz ni vedno prisoten v celoti in je rotacija zenice bolj vidna ob spremembah pogleda. V njihovem primeru je bila težava še v tem, da ima sprednja kamera pametnega telefona Nokia N810 znatno več šuma kot USB-kamera, uporabljena v izvirnem članku [23]. Metoda, ki so jo uporabili v delu [18], je sestavljena iz štirih faz: zaznava oči, ustvarjenje predloge odprtega očesa, sledenje oči in zaznava mežikov. Za potrebo ustvarjanja predloge odprtega očesa so zaznali lokacijo oči na naslednji način. Računali so razlike vseh točk na zaporednih sličicah kamere. Ko je uporabnik mežiknil, sta se pojavili dve območji, kjer se je pojavila večja razlika. Ti dve območji predstavljata natančno lokacijo oči. Zaradi šuma kamere na pametnem telefonu so se pojavljala manjša lažna območja. Ta lažna območja so bila dovolj majhna, da so jih lahko izločili na podlagi velikosti. Zaradi omejitve količine pomnilnika so morali z razliko od izvirne metode ustvariti predlogo odprtega očesa vnaprej. Predloga odprtega očesa je bila ustvarjena na razdalji 20 cm in je bila uporabljena za vse nadaljnje seje. Seveda ima ta pristop slabosti, kot je npr. slabše delovanje v drugačnih osvetlitvenih pogojih, vendar je bil ta ukrep potreben. Za tem, ko so imeli natančno lokacijo oči, so določili območje zaznavanja ROI (region of interest), na katerem so računali korelacijo s predlogo odprtega očesa. Območje ROI je dvakratna velikost predloge odprtega očesa s središčem na zaznani lokaciji oči. Zaradi manjše razdalje od kamere so se v primerjavi z

izvirno metodo pri zaznavi mežikov pojavljale znatne razlike pri korelaciji s predlogo odprtega očesa, ko je uporabnik premikal oči. Ta problem so rešili z določitvijo dveh pragov namesto enega samega. Korelacija nad prvim pragom predstavlja odprto oko, korelacija pod drugim pragom pa zaprto oko. Njihova rešitev je bila namenjena komunikaciji človek – računalnik, torej niso zaznavali utrujenosti očesa na podlagi zaporedja mežikov. Natančnost njihove rešitve je bila med 80 % in 100 %, ko je bil uporabnik oddaljen od telefona 20–30 cm in se ni premikal. V drugačnih osvetlitvenih pogojih in ob premikanju uporabnika je bila natančnost metode 60–75 %.

Delo [19] se je posvečalo zaznavi utrujenosti očesa uporabnika tabličnega računalnika. Utrujenost so določali po številu zaznanih mežikov v časovnem oknu 20 minut. Če so v 20 minutah zaznali povprečno manj kot 13,5 mežika na minuto, so obvestili uporabnika. Za 13,5 mežika na minuto so se odločili, ker so v delu [24] izmerili, da sproščeno oko mežikne $22,4 \pm 8,9$ ($22,4 - 8,9 = 13,5$) krat na minuto. Glavni doprinos dela [19] je učinkovita določitev območja zaznavanja (ROI) ob uporabi mobilne naprave (tabličnega računalnika). Za zaznavo oči so uporabili Haarovo kaskado (klasifikator). Območje zaznavanja so določili glede na predhodno lokacijo oči, postavitev naprave (pokončno ali ležeče) in vgrajen pospeškometer. Postavitev naprave pove, kje na napravi se nahaja kamera. Z informacijo, ki je bila pridobljena s pospeškometrom, so predvideli, kje na sličici je smiselno iskati oči. Če jim ni uspelo najti oči v prvem poskusu, so na isti sličici iskali v razširjenem območju zaznavanja (ROI). V delu poudarjajo, da je za učinkovito delovanje (majhna poraba baterije) pomembno, da je območje zaznavanja čim manjše, saj se računska kompleksnost Haarove kaskade povečuje linearno glede na dolžino sličice. Pri evalvaciji so ugotovili, da so oči približno 86,82 % časa v iskalnem območju (ROI), če ni v uporabi njihov pristop. Z uporabo njihovega pristopa se ta odstotek poveča na 94,15 %. V ostalih primerih so se oči nahajale izven celotne sličice ali pa so bile preveč zamegljene. V delu so povedali, da je pomembno, da za uspešno zaznavo mežikov metoda zajema vsaj 10 sličic na sekundo. Ni dobro zajemati preveč sličic na sekundo, ker ne prispevajo

bistveno h kakovosti zaznavanja in po nepotrebnem trošijo energijo. Povedali so tudi, da ni kritično, če metoda ne zazna vseh mežikov, če je znano razmerje med zgrešenimi (napačno negativni - NN) in napačno zaznanimi mežiki (napačno pozitivni - NP). Za uporabljeno metodo so navedli, da je to razmerje približno enako. Za zaznavo mežikov so uporabili računanje korelacije s predlogo odprtega očesa, zasnovano na [25], vendar so za razliko od [18] predlogo odprtega očesa ustvarili v realnem času. Pomembno je omeniti, da so uporabili precej zmogljivejšo napravo, kot je bila uporabljena v delu [18]. V članku niso poročali o uspešnosti zaznave mežikov. Njihov glavni doprinos je učinkovita določitev območja zaznavanja ROI, o čemer so poročali v rezultatih.

V delu [11] so izdelali aplikacijo, ki zaznava utrujenost voznika. Za zaznavanje utrujenosti so merili kinkanje, obračanje glave in delež časa, ko so oči zaprte v kratkem časovnem intervalu (angl. Percent Eye Closed – PERCLOS). Njihova izdelava PERCLOS je prirejena tako, da vključuje štetje mežikov v tem kratkem časovnem obdobju. Metoda, ki so jo uporabili za zaznavanje mežikov, je sestavljena iz naslednjih delov: predprocesiranje, zaznava obraza, zaznava oči in zaznava mežikov. Vsaki zajeti sličici so zmanjšali ločljivost na 180 x 320, nato so zmanjšano sličico spremenili v sivinsko (angl. grayscale). Z uporabo Haarove kaskade so najprej zaznali lokacijo glave in nato še oči v pričakovanem območju (v zgornjem delu glave). Območje, kjer se nahajajo oči, so za učinkovito štetje črnih pik spremenili v črno-belo sliko. Mežike so zaznali, če se je število črnih pik znatno zmanjšalo (običajno za kratek čas) in nato znova povečalo. V delu niso poročali o uspešnosti zaznave mežikov, zgolj o korelaciji med zaznano utrujenostjo in poročili udeležencev eksperimenta.

1.6 Prispevki magistrskega dela

V magistrskem delu smo preizkusili več metod za zaznavanje mežikov. Pri izdelavi posamezne metode smo posvečali pozornost temu, da bo metoda čim

bolje zaznavala mežike uporabnika računalnika z uporabo spletne kamere. Spletne kamere pri namiznih in prenosnih računalnikih želimo uporabiti, ker so najmanj moteče in pogosto že vgrajene.

Pri izdelavi posamezne metode smo imeli v mislih tudi to, da bo metoda dovolj hitra, da se bo lahko izvajala tudi na pametnem telefonu z uporabo kamere na prednji strani telefona.

Zaznavanje mežikov na sličicah s spletne kamere je težavno zaradi naslednjega:

- ločljivost kamere je običajno 640 x 480, kar pomeni, da je ločljivost obraza od 160 x 160 do 280 x 280 (odvisno od razdalje uporabnika) in ločljivost območja posameznega očesa od 40 x 40 do 70 x 70 točk.
- okolje uporabnika je nenadzorovano. Kadar je slika zajeta v temnem prostoru, je na njej veliko šuma, kar slabša razmerje med signalom in šumom (angl. signal to noise ratio - SNR). Če ima uporabnik v ozadju svetlo okno, to pomeni, da so preostala območja na sliki zatemnjena in je na sliki veliko šuma.
- v temnem prostoru je na določenih vrstah očal viden odsev od zaslona.

Zaradi nizke kakovosti sličic smo preizkusili metode, ki ne segmentirajo delov očesa (trepalnice, vek, šarenica, zenica), temveč merijo aktivnosti, ki so vidne od daleč. Metoda, ki nam je dala najboljše rezultate, računa optični tok v zaporednih sličicah z uporabo metode Farneback [26] (v nadaljevanju „metoda zaznavanja premikov“). Metoda, ki nam je dala prav tako zadovoljive rezultate, računa korelacijo ujemanja s predlogo odprtega očesa (v nadaljevanju „metoda ujemanja s predlogo odprtega očesa“). Tretja metoda, ki smo jo preizkusili, zaznava količino črne barve, ki predstavlja šarenico in zenico (v nadaljevanju „metoda zaznavanja količine črne barve na območju oči“). Za to metodo se je izkazalo, da je težavno ugotavljati mežike z univerzalnim pristopom v vseh okoliščinah.

Za preizkušanje vseh metod smo razvili ogrodje, ki uporablja dve niti in tako ločuje zajemanje sličic od procesiranja sličic. Na ta način omogočimo

zajemanje sličic ob maksimalni (želeni) hitrosti in ne zaustavljamo zajemanja sličic zaradi procesiranja sličic.

1.7 Zasnova aplikacije

Implementacija vseh treh metod je izvedena v programskem jeziku C++. Rešitev za osebni računalnik je v celoti napisana v jeziku C++, vendar smo jo preizkušali le na operacijskem sistemu Linux. Menimo, da bi se aplikacija z manjšimi spremembami lahko izvajala tudi na operacijskih sistemih Mac OS in Windows.

Rešitev za pametni telefon je prilagojena za operacijski sistem Android. Za klic metod, ki so napisane v jeziku C++, smo uporabljali vmesnik JNI (angl. Java native interface). Preostanek aplikacije (grafični vmesnik in zajemanje slike) je napisan v programskem jeziku Java.

Ogrodje, ki ločuje zajemanje od procesiranja sličic, predstavlja pomemben del aplikacije. Ogrodje uporablja dve niti. Prva nit zajema sličice in jih shranjuje na koncu povezanega seznama. Druga nit pobira elemente na začetku seznama in jih posreduje metodi za procesiranje. Čas procesiranja posamezne sličice je odvisen od več dejavnikov. Ob določenih trenutkih lahko procesiranje traja dalj časa, kot je frekvenca zajemanja sličic. To povzroči zamik zajemanja sličic in možnost zgrešitve mežikov. Druga prednost, ki jo prinaša tovrstno ločevanje, je uporaba metod, ki se ne izvajajo na vseh napravah v realnem času. V našem preizkusu smo ugotovili, da potrebuje naprava približno 250 MB prostega pomnilnika za medpomnjenje 30 sekund sivinskih sličic ločljivosti 640 x 480 ob hitrosti zajemanja 30 sličic na sekundo. Ob uporabi metod, ki se izvajajo v realnem času, je medpomnilnik (povezan seznam) večino časa prazen. Na napravi, ki ni zmožna procesirati sličic v realnem času, mora medpomnilnik zagotavljati vsaj 15 sekund nepretrganih sličic za učinkovito delovanje metod, opisanih v magistrskem delu. Ogrodje začasno zaustavi zajemanje, če medpomnilnik preseže določeno vrednost.

Poglavje 2

Metode za zaznavanje mežikov

V tem poglavju opišemo tri vrste metod, ki smo jih preizkusili. V prvem podpoglavju obravnavamo metodo, ki analizira premike na območju oči in na ta način zaznava mežike. V drugem podpoglavju obravnavamo metodo, ki zaznava mežike, če se korelacija ujemanja s predlogo odprtega očesa zmanjša za določen čas. V tretjem podpoglavju obravnavamo metodo, ki zaznava mežike, če se delež črne barve na območju oči zmanjša za določen čas.

2.1 Metoda zaznavanja premikov na območju oči

Pri vseh metodah k uspešnosti bistveno prispeva pazljivo obravnavanje celotnega postopka. Celoten postopek običajno sestavljajo:

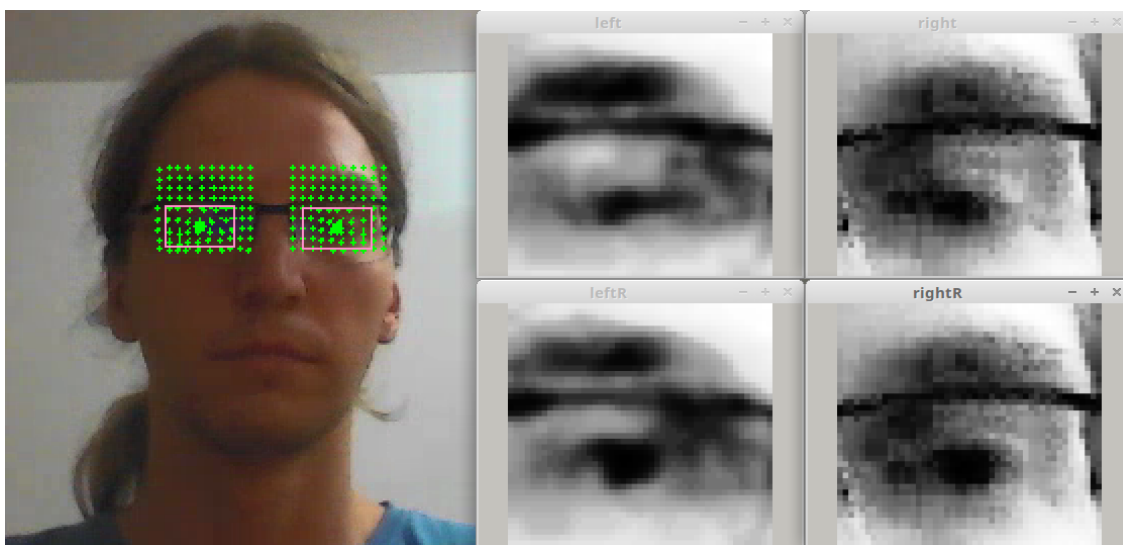
- priprava slike na procesiranje,
- izvedba metode s ciljem, da ustvari signal s čim boljšim razmerjem SNR,
- učinkovito procesiranje signala s ciljem, da z njega čim bolje razberemo mežike.

Prva metoda, ki smo jo preizkusili, zaznava mežike z analiziranjem premikov na območju oči. Za zaznavanje premikov smo uporabili optični tok. Preizkusili smo dve metodi, s katerima je možno ugotoviti smer in razdaljo premika. V delu [3] so sledili naključnim značilkam na območju oči in v okolici z uporabo sledilnika Kanade-Lucas-Tomasi (KLT). V magistrskem delu smo preizkusili tudi to metodo, vendar smo ugotovili, da se ne izkaže dobro v temnih prostorih zaradi šuma. Če šuma ne omilimo z operacijami za zmanjševanje šuma, se značilke zaradi šuma hitro izgubijo. Če uporabimo operacije za zmanjševanje šuma, je na sliki veliko površin gladkih in metoda ne najde dovolj značilk za zanesljivo zaznavo mežikov.

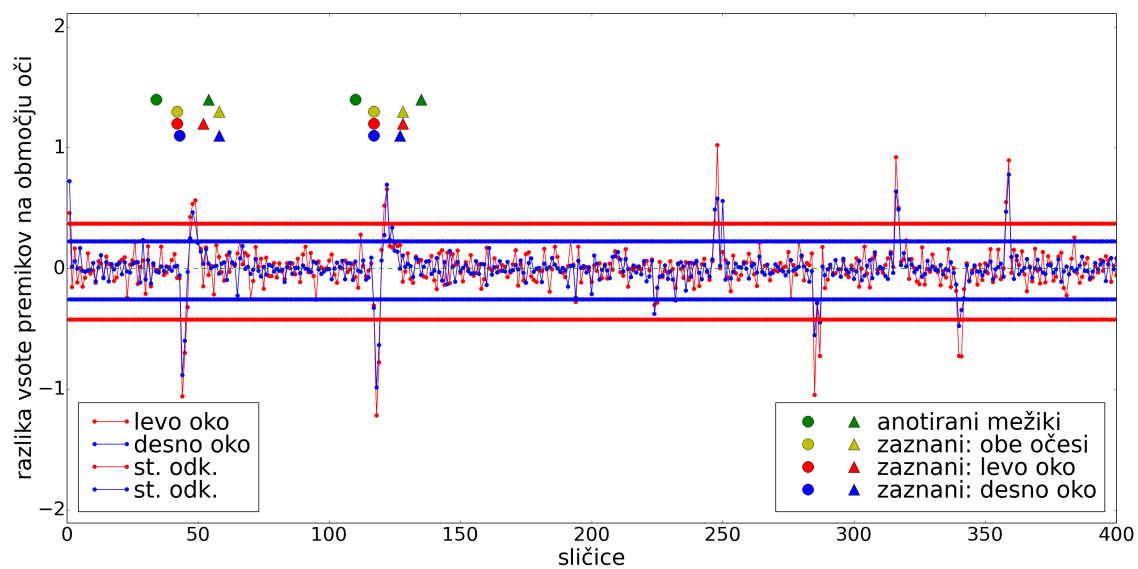
Metoda Farneback [26] analizira premike vsake točke na določenem območju na dveh zaporednih sličinah. V temnih prostorih je tudi ta metoda občutljiva na šum, vendar smo se tej težavi izognili tako, da smo računali optični tok na območju oči in v neposredni okolici. Mežike smo zaznali tako, da smo primerjali vsoto vertikalnih premikov vseh točk na območju oči in v neposredni okolici. Ob mežikih je bila vsota vertikalnih premikov navzdol na območju oči bistveno višja kot v neposredni okolici, ob povratku (odpiranje očesa) pa je bilo obratno. Na ta način dobimo v zaporedju časa dovolj očiten signal, iz katerega lahko razberemo mežike.

Slika 2.1 prikazuje razmere ob večernih urah. Na sliki je znatna količina šuma. Šum premakne naključne točke v naključno smer, vendar ga seštevek točk na izbranem območju izniči. Zaznavanje smo dodatno izboljšali tako, da smo določeno količino šuma izničili z Gaussovim glajenjem. Sliko smo naredili ponovno bolj hrapavo z ojačanjem kontrasta (angl. histogram equalization). Ta pristop se ni obnesel dobro z uporabo sledilnika KLT, saj metoda ni našla dovolj točk v okolici oči, ki bi jim lahko sledila.

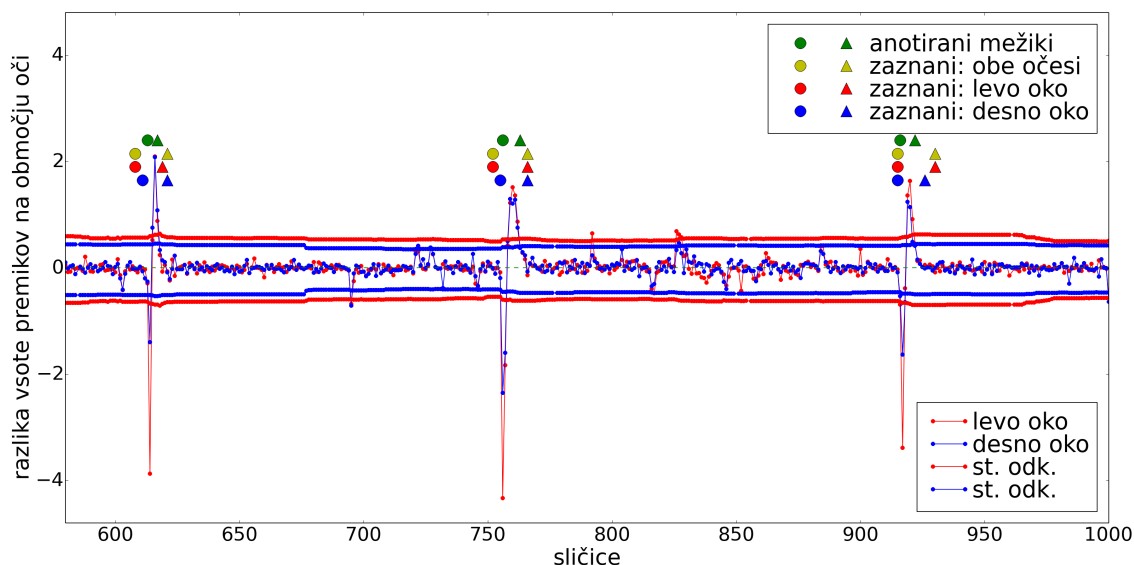
Slika 2.2 prikazuje signal, na katerem sta vidna dva mežika. V nadaljevanju so vidna odstopanja, ki jih povzroči izmenjevanje pogleda gor in dol. Zelene oznake na vrhu predstavljajo mežike, ki so bili ročno označeni. Rdeče oznake predstavljajo mežike, ki jih je metoda zaznala na levem očesu, modre oznake pa mežike na desnem očesu. Rumene oznake predstavljajo



Slika 2.1: Na sliki je vidna razlika premikov znotraj in zunaj označenega pravokotnika, ki predstavlja območje zenice



Slika 2.2: Signal, ki predstavlja zaznane mežike s slike 2.1. Na njem je zaradi slabe osvetlitve veliko šuma.



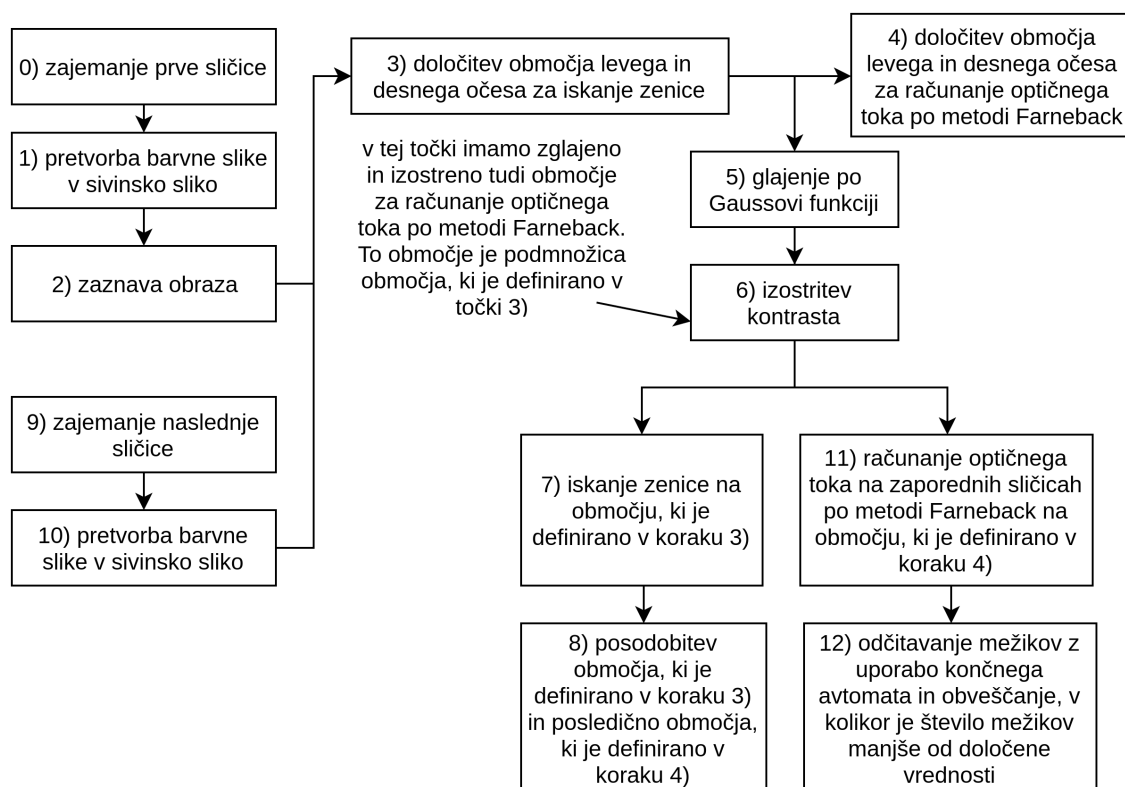
Slika 2.3: Signal, ki predstavlja zaznane mežike na videoposnetku „Talking face“ [22]. Tu je slika veliko boljše kakovosti kot na sliki 2.1.

združene mežike. Postopek smo opisali v poglavju združevanja mežikov in obveščanje 2.1.3. Metoda ne upošteva mežikov, ki se zgodijo le na enem očesu.

Slika 2.3 prikazuje signal, na katerem so vidni trije mežiki na videoposnetku „Talking face“ [22]. Na tem signalu so mežiki bistveno bolj očitni kot na signalu, ki je viden na sliki 2.2.

2.1.1 Potek zaznavanja mežikov

Slika 2.4 prikazuje diagram poteka zaznavanja mežikov. V prvem koraku spremenimo barvno sliko v sivinsko sliko, nato zaznavamo obraz (korak 2) na sivinski sliki s klasifikatorjem na osnovi lokalnih binarnih vzorcev (angl. local binary patterns – LBP). Klasifikator LBP daje v primerjavi s klasifikatorjem Haar cascade nekoliko slabše rezultate, vendar deluje na pametnem telefonu veliko hitreje. Razlog je v tem, da ne uporablja operacij s plavajočo vejico. Operacije s plavajočo vejico so na pametnih telefonih zelo počasne. Če na



Slika 2.4: Prikaz poteka procesiranja metode zaznavanja premikov

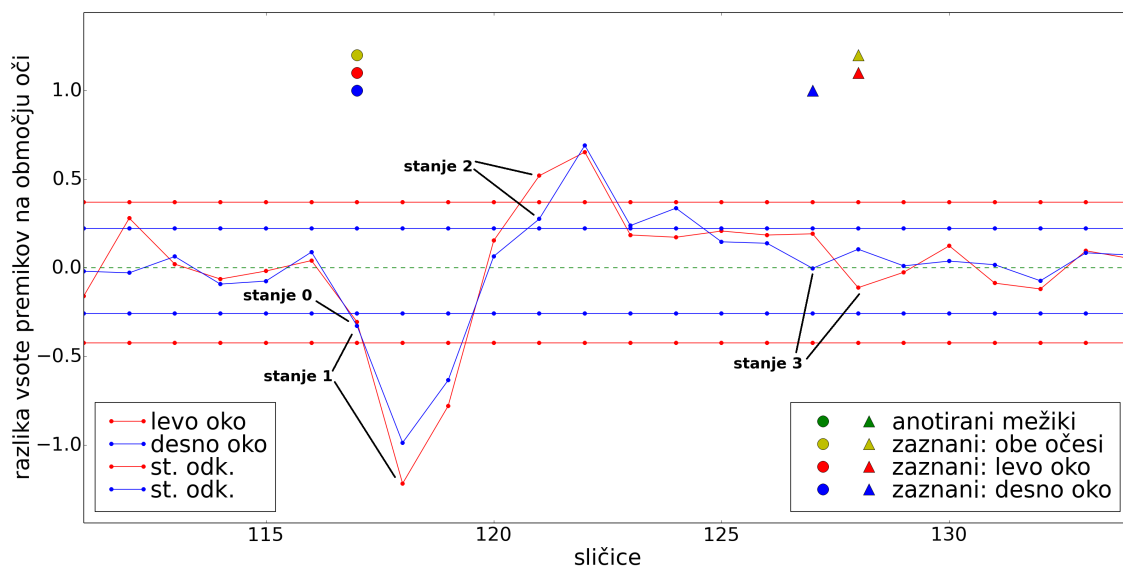
sliki zaznamo samo en obraz, na njem določimo območja, kjer se nahajajo oči (korak 3 in 4). Za boljše delovanje metode območje oči obdelamo z Gaussovimi glajenjem in ojačanjem kontrasta (angl. histogram equalization) (korak 5 in 6). V nadaljnjih sličicah kot prvi korak ne iščemo več obraza, temveč določimo lokacijo oči z iskanjem zenice na območju oči (korak 7) z metodo gradientov, ki je opisana v članku [27]. Kode za iskanje zenice na območju oči nismo napisali v celoti sami, temveč smo kot osnovo vzeli kodo, ki je dosegljiva na povezavi [28]. Čas, ki je potreben za iskanje zenice na območju oči, je v primerjavi z računanjem optičnega toka po metodi Farneback približno 20–50-krat daljši. Menimo, da bi lahko hitrost algoritma izboljšali s tem, da bi v kasnejših fazah algoritma upoštevali le bolj intenzivne gradiente ali pa odpravili morebitne izvedbene neučinkovitosti implementacije. Problem računske zahtevnosti iskanja zenice na območju oči smo obšli tako, da izvajamo to operacijo vsakih 250 milisekund oziroma prej, če z optičnim tokom (korak 11) zaznamo večje premike obraza. Območje oči posodobimo (korak 8), kadar se zenica približa robu. V tem primeru zavržemo predhodno sličico, saj na njej posodobljeno območje ni prisotno v celoti. Temu bi se lahko izognili, če bi shranjevali razširjeno območje, vendar menimo, da to ni potrebno, ker se območje ne posodablja pogosto. V koraku 11 zaznavamo razliko optičnega toka v okolici zenice in na preostanku območja oči. Na ta način dobimo signal, ki je prikazan na slikah 2.2 in 2.3. Signal procesiramo s končnim avtomatom (korak 12).

Obraz zaznavamo na novo, če se zenica nenadoma premakne za nerazumno razdaljo in ostane na tej razdalji najmanj 400 milisekund. Proces začnemo znova tudi, če se razdalja oči poveča za določen odstotek in če postane vertikalna razdalja očesa večja od določenega faktorja razdalje oči.

2.1.2 Končni avtomat za procesiranje signala

Primer signala z vidnim mežikom je prikazan na sliki 2.5.

Za določitev, kdaj je amplituda signala dovolj velika, smo računali standardni odklon v časovnem oknu 15 sekund. Za omiljenje nestabilnosti ob



Slika 2.5: Točke, v katerih avtomat obravnava signal

intenzivnih premikih smo ponovno izračunali standardni odklon, pri čemer smo izključevali signal, ki je presegal določen faktor standardnega odklona ob prvem izračunu.

V članku [29] so prikazali, da je možno tovrsten signal relativno enostavno procesirati s končnim avtomatom, zato smo se zanj odločili tudi mi. Na sliki 2.5 so označena območja, ki jih upošteva avtomat pri zaznavanju mežikov.

Avtomat ima štiri možna stanja:

- v stanju 0 išče zadnji prehod signala iz pozitivnega stanja v negativno,
- v stanju 1 avtomat preverja, ali je signal presegel določen faktor standardnega odklona v negativni smeri,
- v stanju 2 avtomat preverja, ali je signal presegel določen faktor standardnega odklona v pozitivni smeri,
- v stanju 3 avtomat zaključi mežik, če signal preide iz pozitivnega stanja v negativno.

Avtomat v stanju 0 in stanju 3 zabeleži čas prehoda signala iz pozitivnega v negativno stanje. Z beleženjem tega časa tudi v stanju 3 omogočimo, da lahko avtomat zazna večkratne mežike. Če v kateremkoli stanju preteče nerazumno veliko časa, preide avtomat v stanje 0.

2.1.3 Združevanje mežikov in obveščanje

V članku [29] so predlagali način za združevanje mežikov levega in desnega očesa. Predlagali so, da se mežik levega in desnega očesa združi, če se mežika prekrivata v večjem delu. Če se mežika prekrivata v manjšem delu, naj bi metoda vrnila dva mežika, ki sta se zgodila zaporedoma. V tretjem obravnavanem primeru so predlagali, naj metoda vrne ločene mežike, če na istem intervalu za eno oko zazna dva mežika ali več, za drugo oko pa samo enega.

Pri eksperimentih smo opazili, da ima naša metoda relativno majhen delež napačno zaznanih mežikov glede na število anotiranih (NP/P; $P=PP+NN$). K temu v veliki meri prispeva kompleksnost signala, saj prekoračitev standardnega odklona ob neizpolnjevanju ostalih pogojev ni upoštevana kot mežik. Kljub temu smo se odločili, naj naša metoda vrne samo en mežik, če se zgodi presek zaznanih mežikov levega in desnega očesa. Metoda ne upošteva mežikov, ki se ne prekrivajo z drugim očesom. Na ta način je metoda bolj dovezetna na zgrešitev mežikov, vendar povečujemo gotovost, da so zaznani mežiki zares mežiki.

V našem prototipu metoda obvesti uporabnika z zvočnim signalom, če je število zaznanih mežikov v nekem časovnem oknu manjše od nastavljenega. Pri določitvi časovnega okna upoštevamo dejanski čas merjenja mežikov. Čas, ko uporabnik ni prisoten pred kamero, ni upoštevan. Metoda prav tako ne upošteva časa, če je časovna razlika med zaporednima sličicama nerazumno velika. S tem omogočimo uporabnost metod, ki se izvajajo na napravi, ki ni zmožna procesirati sličic v realnem času. Metoda ne obvešča, če je čas merjenja mežikov manjši od polovice določenega časovnega okna.

2.2 Metoda ujemanja s predlogo odprtega očesa

Druga metoda, ki smo jo preizkusili, računa korelacijo ujemanja s predlogo odprtega očesa. Našo metodo smo zasnovali po delu [23] z več prilagoditvami. Delo [23] se je posvečalo komunikaciji človek – računalnik, zato je bilo za njihov sistem pomembno, da ima hiter odzivni čas. V delu [23] so za inicializacijo predloge izračunavali razliko na dveh zaporednih sličicah in ustvarili predlogo za tem, ko so zaznali mežik. Mi smo se zanašali na statistiko, da ima človek večino časa odprto oko, zato smo preskočili ta korak. Zaznavanje začnemo od začetka vsakih 20 sekund; s tem se izognemo, da bi morebitna napaka trajala predolgo. S tem imamo tudi ves čas svežo predlogo in ob mežikih znatne razlike v korelaciji. Lokacijo oči smo določili na podlagi geometrijske lastnosti obraza. Obraz zaznavamo s klasifikatorjem LBP. Če bi želeli zagotoviti, da ves čas sledimo odprtemu očesu, bi lahko shranjevali sličice očesa in popravili nedavno zgodovino korelacije z boljšo predlogo. S tem bi še vedno dosegli 100-odstotno pokritost.

V delu [23] so za odčitavanje mežikov uporabili fiksni prag. Ugotovili so, da ima odprto oko normirano korelacijo nad 0,85, zaprto pa od 0,5 do 0,55. Če korelacija pade pod 0,45, so ponovno inicializirali sledenje očesa. V delu [23] so predpostavljali, da paralizirani uporabniki zelo malo premikajo glavo, zato je bilo iskalno polje le malenkost večje od predloge odprtega očesa.

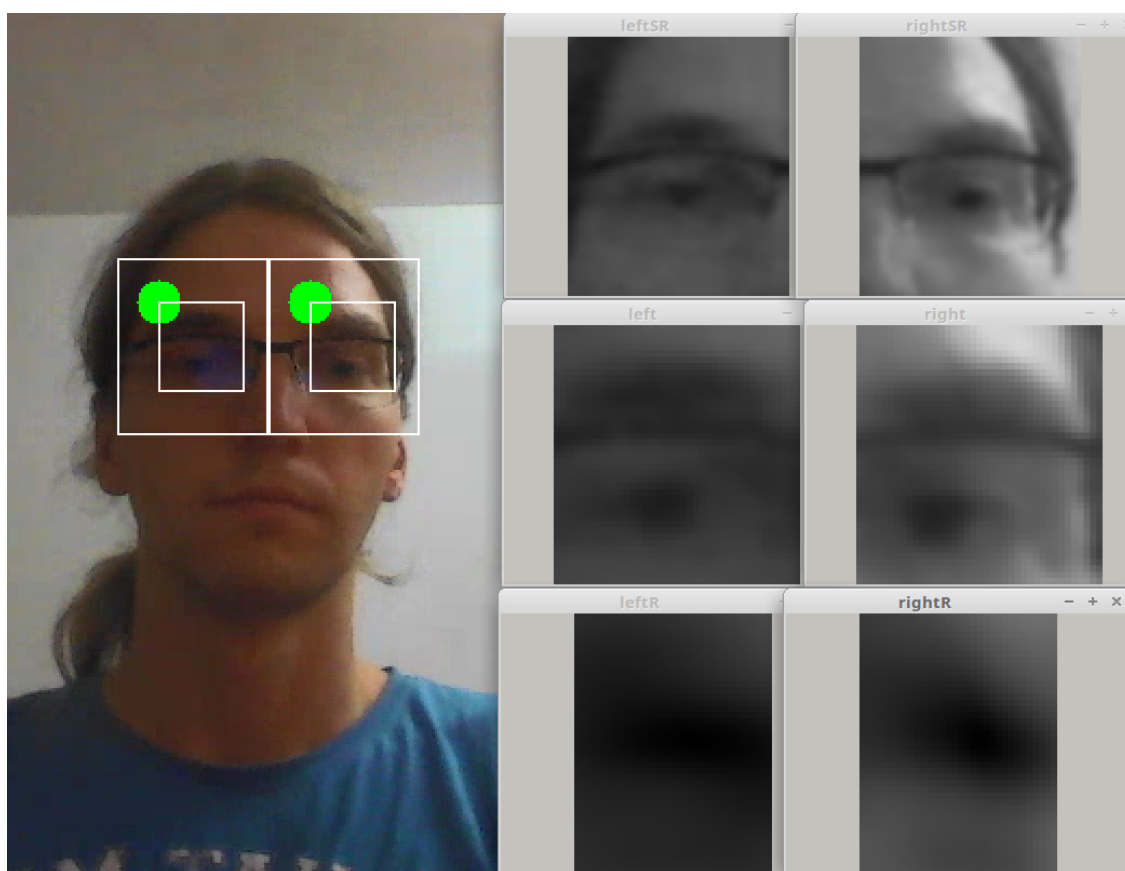
V našem delu smo se odločili za prilagodljiv pristop. Ugotovili smo, da se v temnejših prostorih zgodijo manjše razlike korelacije kot v svetlejših prostorih. Na intenziteto razlik vpliva tudi velikost predloge. Če ustvarimo zelo majhno predlogo, obstaja večja verjetnost, da bomo izgubili sledenje ob mežikih in hitrejših premikih glave. Če ustvarimo večjo predlogo, dobimo bolj robustno sledenje, vendar neznatno razliko ob mežikih. Ob upoštevanju tega smo se odločili za bolj vertikalno obliko predloge. Predloga je še vedno dovolj majhna, da ob mežikih zaznamo razliko korelacije, vendar vključuje tudi obrvi, če uporabnik nima preveč nagnjene glave. S tem dobimo dovolj unikaten vzorec predloge, da imamo robustno sledenje, a še vedno znatno razliko v korelaciji ob mežikih.

Ob eksperimentih nismo našli fiksnega praga, s čimer bi lahko zanesljivo odčitavali mežike, vendar so v signalu jasno vidni vzorci mežikov. Za odčitavanje mežikov smo uporabili enostaven detektor za iskanje temenskih vrednosti v signalu (angl. peak detection algorithm). Intenziteto temenskih vrednosti smo določili s faktorjem standardnega odklona odvoda signala v zadnjih 10 sekundah. Pri zaznavanju mežikov smo omejili dolžino zaznavanja temenskih vrednosti na 500 ms. S tem pristopom uspešno zaznamo mežike, tudi kadar uporabnik gleda navzdol, prav tako lahko tudi uspešno izločimo napačne zaznave ob izmenjavi pogledov.

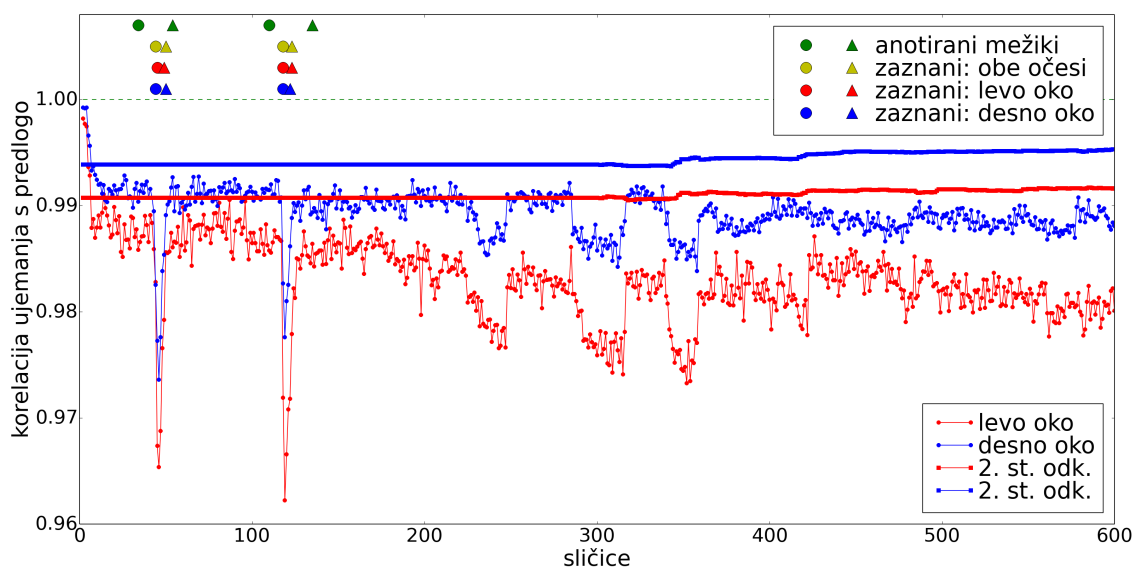
Na sliki 2.6 je prikazano delovanje metode. Zgornji dve sličici prikazujeta območje zaznavanja levega in desnega očesa. Sredinski sličici prikazujeta trenutno predlogo odprtega očesa. Spodnji sličici prikazujeta korelacijo s predlogo na območju zaznavanja. Na sličicah je vidno, da je najboljše ujemanje s predlogo približno na sredini območja zaznavanja. Posnetek je bil zajet v večernih urah, na njem je veliko šuma. Sledenje v tovrstnih razmerah in tudi pri hitrejših premikih glave je bolj robustno kot pri metodi zaznavanja premikov, vendar ta metoda ustvari bolj nejasen signal ob premikih glave.

Signal, ki predstavlja zaznane mežike na videoposnetku slike 2.6, je prikazan na sliki 2.7. Na sliki sta dva zaznana mežika. Med sličicama 220 in 370 so se zgodile tri izmenjave pogledov. Modra in rdeča vodoravna črta prikazujeta, kolikšno razliko v signalu zahtevamo, da bomo dogodek šteli kot mežik. Razmerje lahko primerjamo med vrednostjo 1 in vodoravno črto v primerjavi s signalom in dnom zaznanega mežika. Za robustno zaznavanje si želimo, da je prag zagotovo nad osnovnim nihanjem signala in zagotovo manjši od globine mežikov.

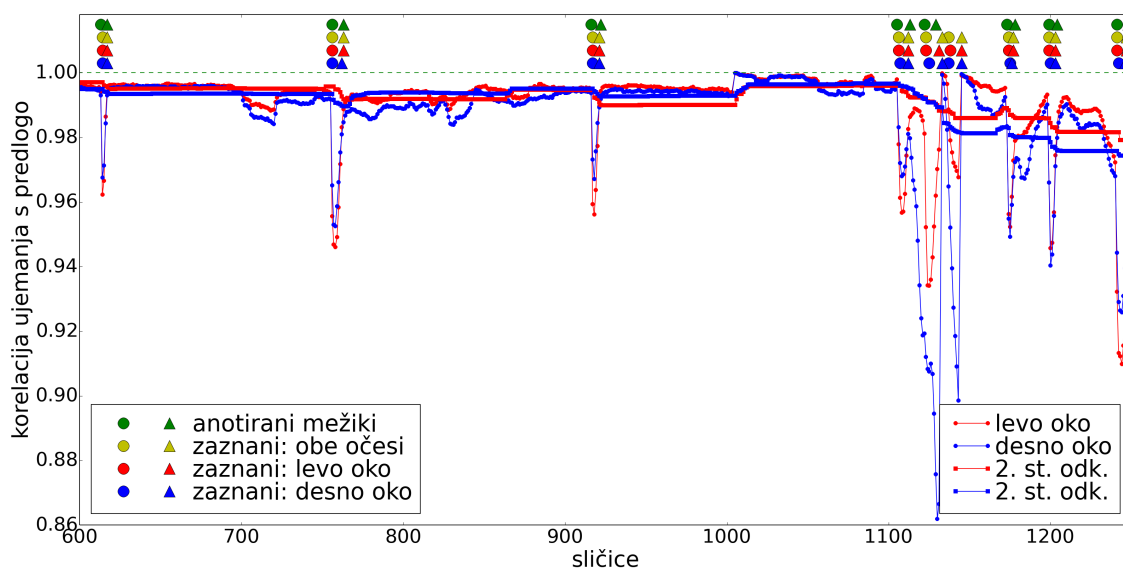
Slika 2.8 prikazuje signal, ko oseba premika glavo in spreminja držo. Metodi smo dodali logiko, da na novo zajame predlogo, če se očesna razdalja spremeni za določen faktor. Metoda prav tako na novo zajame predlogo, če je vertikalna razdalja med očesoma večja od razumne, ko oseba nagne glavo. Slika 2.9 prikazuje signal, če zajamemo predlogo, ko so oči zaprte. Trenutno nimamo logike, da bi na novo zajeli predlogo, vendar so take situacije redke.



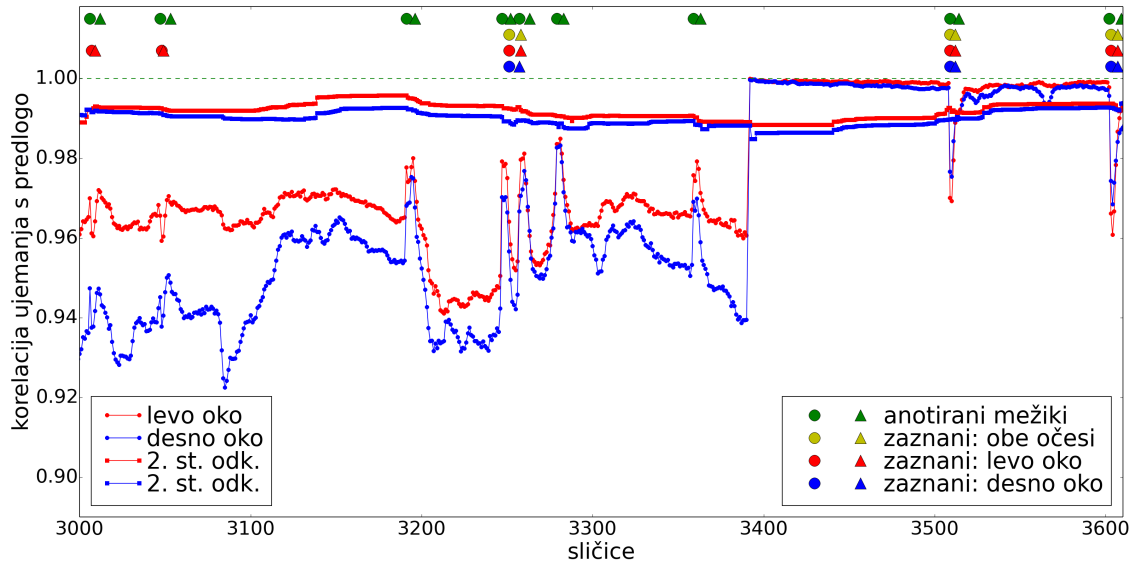
Slika 2.6: Prikaz delovanja metode ujemanja s predlogo odprtega očesa.



Slika 2.7: Signal, ki predstavlja zaznane mežike na videoposnetku, je prikazan na sliki 2.6



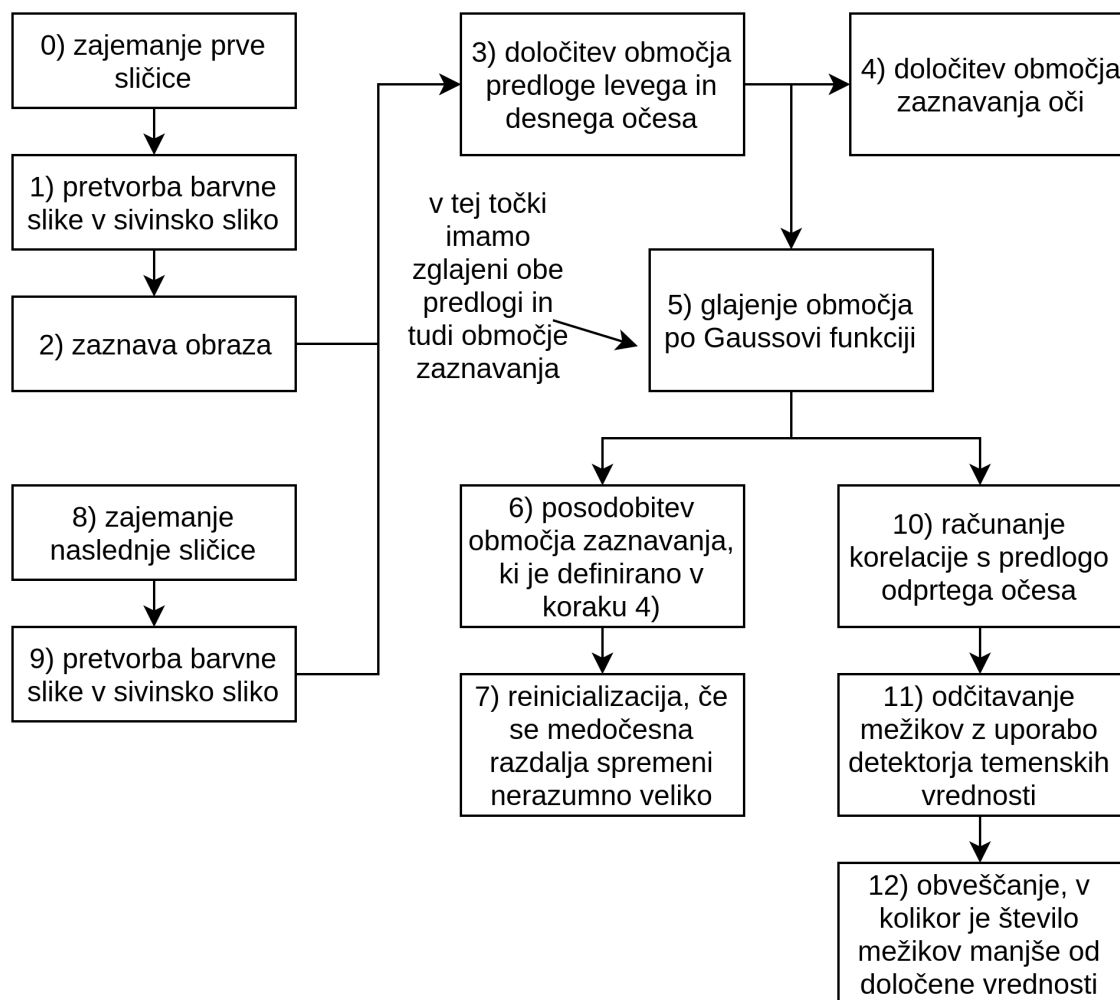
Slika 2.8: Primer signala, ko oseba premika glavo in spreminja telesno držo



Slika 2.9: Primer signala, če smo zajeli predlogo, ko so bile oči zaprte. V točki 3400 smo na novo zajeli predlogo odprtega očesa.

2.2.1 Potek zaznavanja mežikov

Prvi koraki zaznavanja mežikov so enaki kot pri metodi zaznavanja premikov. Zajeto sliko (korak 0) spremenimo v sivinsko (korak 1) in na njej zaznavamo obraz (korak 2) s klasifikatorjem LBP. Na območju obraza določimo območje za predlogo levega in desnega očesa (korak 3), nato območje razširimo, kar predstavlja območje zaznavanja (korak 4). Območje zaznavanja zgladimo z Gaussovo funkcijo (korak 5). V tej točki imamo zglajeno tudi predlogo odprtega očesa (korak 3). V naslednjih sličicah določimo območje zaznavanja na enaki lokaciji kot na predhodni sličici. To območje zgladimo z Gaussovo funkcijo (korak 5) in na njej računamo korelacijo s predlogo odprtega očesa (korak 10). Območje zaznavanja posodobimo, če se lokacija ni spremenila za več kot 20 točk po Manhattanovi razdalji. Če lokacije nismo posodobili več kot 500 ms, začnemo znova (korak 0). Z zaporedja korelacije s predlogo odprtega očesa odčitavamo mežike z detektorjem temenskih vrednosti (korak 11). Zaznane mežike levega in desnega očesa združujemo na enak način kot



Slika 2.10: Prikaz poteka procesiranja metode ujemanja s predlogo odprtega očesa

pri metodi zaznavanja premikov. Če število mežikov v določenem intervalu pade pod določeno mejo, obvestimo uporabnika.

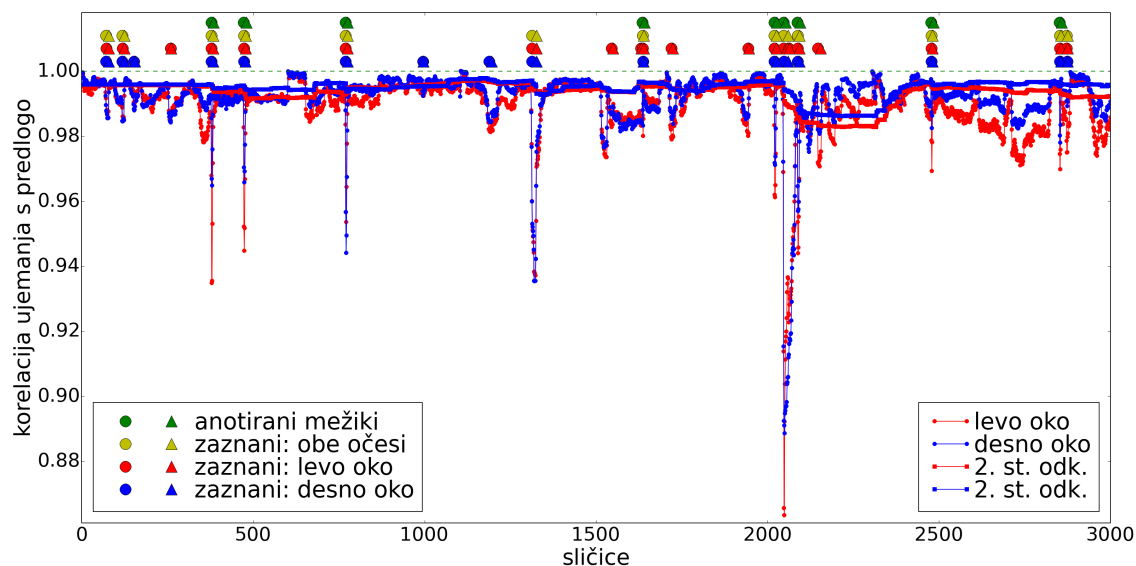
2.2.2 Detektor temenskih vrednosti

Detektor temenskih vrednosti (angl. peak detection algorithm) deluje tako, da merimo odstopanje vmesnih točk med dvema točkama (leva, desna), ki sta oddaljeni 500 ms. Desna točka je vedno zadnja točka izračuna korelacije s predlogo odprtega očesa. Leva točka je točka, ki je oddaljena 500 ms. Odstopanje vmesnih točk izračunamo ob vsakem novem izračunu korelacije s predlogo odprtega očesa. Če točka odstopa za 5 standardnih odklonov odvoda signala, označimo, da točka odstopa. Zaporedje točk, ki odstopajo, združimo in tako določimo začetek in konec mežika. Mežike levega in desnega očesa združimo na enak način kot pri metodi zaznavanja premikov.

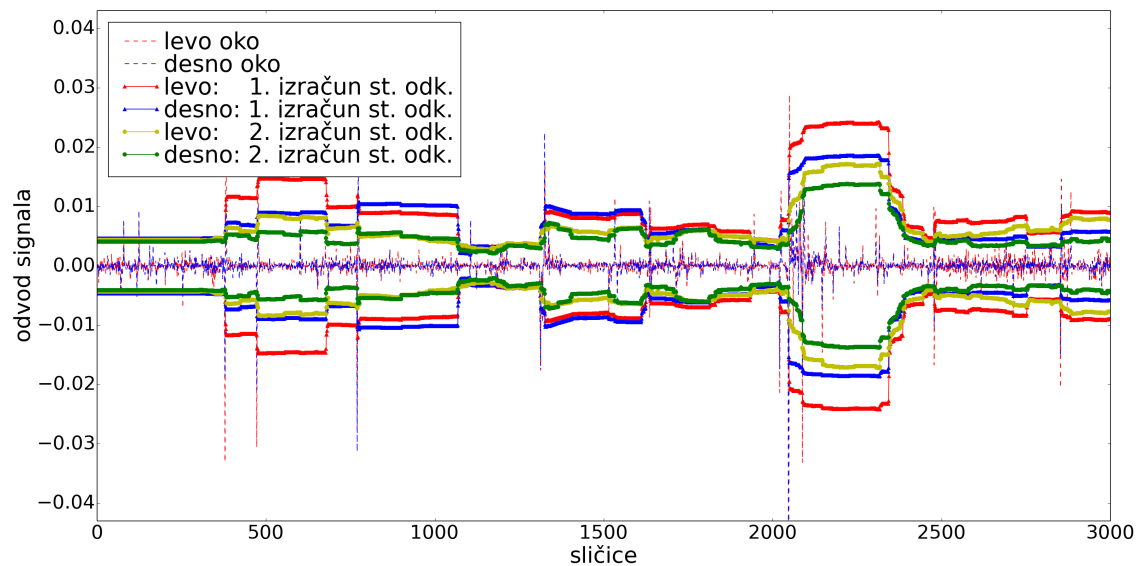
Odvod signala 2.11 je prikazan na sliki 2.12. Rdeče in modre točke (običajno skrajno zgoraj in skrajno spodaj) prikazujejo 4 standardne odklone odvoda signala. Rumene in zelene točke prikazujejo 5 standardnih odklonov odvoda signala, pri čemer ne upoštevamo točk, ki presegajo 4 standardne odklone odvoda signala. Na ta način preprečimo močno odstopanje ob izjemnih spremembah signala (npr. pri ponovnem začetku zaznavanja).

2.3 Metoda zaznavanja količine črne barve na območju oči

Tretja metoda, ki smo jo preizkusili, zaznava količino črne barve na območju oči. Naša metoda je zasnovana na delih [3] in [11]. Prvo delo zaznava mežike na podlagi ujemanja barve kože na območju oči. Ko uporabnik mežika, se zaradi veke količina kožne barve poveča. Znatno povečanje šteje kot mežik. Delo [11] zaznava mežike na podlagi količine črne barve na območju oči. Ko uporabnik mežika, se količina črne barve zmanjša, saj je veka občutno svetlejša barve, kar velja tudi za ljudi s temnejšo barvo kože. V prvem delu



Slika 2.11: Primer signala, za katerega je prikazan odvod na sliki 2.12



Slika 2.12: Odvod signala 2.11 in standardna odklona odvoda signala

so sliko za boljše rezultate obdelali še z morfološkimi operacijami (Erode in Open).

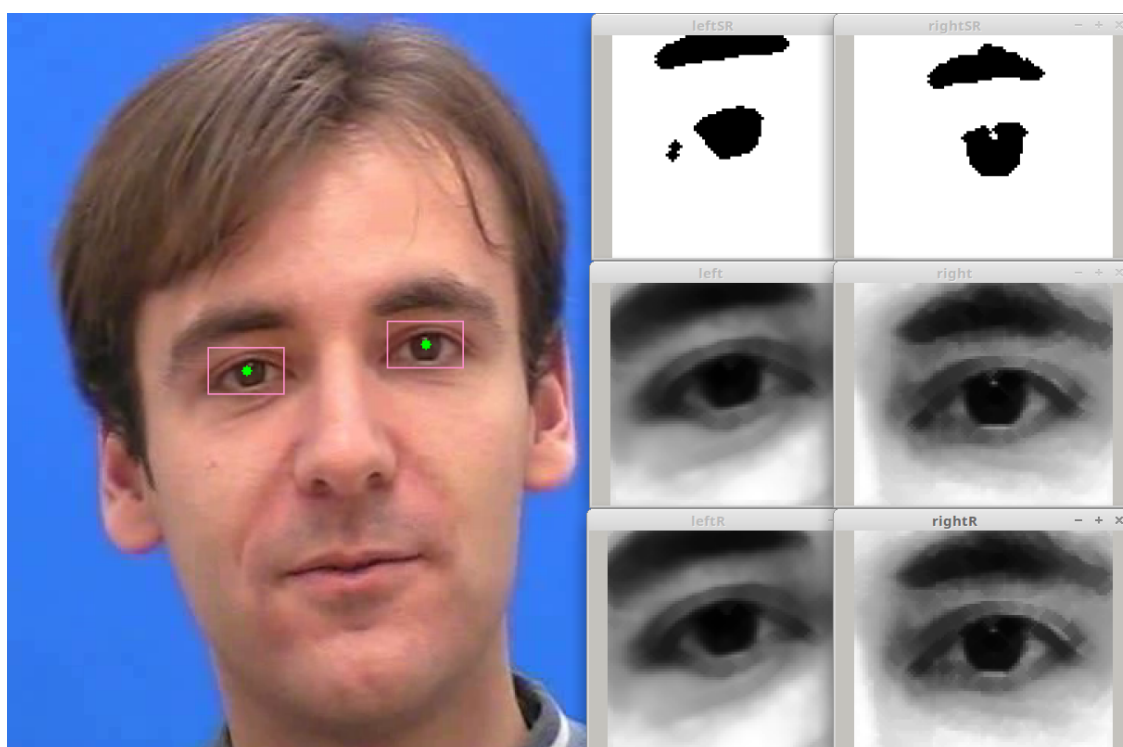
V delu [3] so prikazali razliko vsebovanosti kožne barve pri odprtem očesu in med mežikom. Na sliki je razlika bistveno manj očitna kot v delu [11]. Opisali so, da težave povzročajo ličila, senca in očala, saj to zmanjšuje količino kožne barve, ki jo sicer daje veka. Kljub temu so poročali o dobrih rezultatih.

Mi smo združili več pristopov. Prvi koraki metode so enaki kot pri metodi zaznavanja premikov. Območje oči smo določili na podlagi geometrijskih lastnosti obraza. Obraz zaznavamo s klasifikatorjem LBP. Območje oči zgladimo z Gaussovo funkcijo, nato ga izostrimo (angl. histogram equalization). Nato na območju oči izvedemo dve ponovitvi morfološke operacije Dilate, nato dve ponovitvi Erode. Črno barvo določimo, če je barva temnejša od praga 27 na razponu od 0 do 255. Obrvi smo izločili z območja zaznavanja in smo upoštevali le območje okrog zenice. Uporabili smo isti algoritem kot pri metodi zaznavanja premikov.

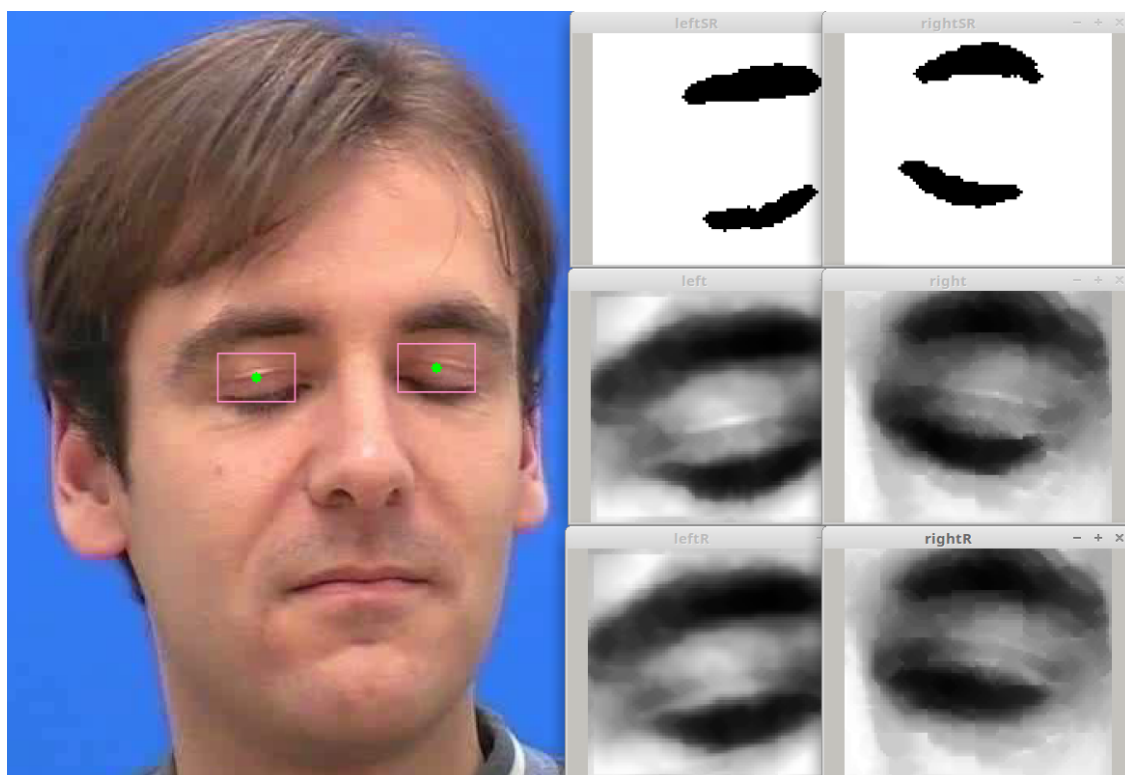
Izkazalo se je, da so trepalnice ob mežikih dosti bolj vidne pri odprtem očesu, to pa predstavlja težavo pri zaznavanju. Poleg tega senca na območju oči stalno spreminja količino temnega deleža. Včasih ni vidna razlika v padcu črnega deleža, ki je posledica mežika ali spremembe pogleda.

Sliki 2.13 in 2.14 prikazujeta obdelavo območja oči, s katerega zaznavamo mežike. Količina črnega deleža je še vedno precejšnja, kadar so oči zaprte. Signal 2.15 prikazuje prvih 20 sekund posnetka „Talking face“. Med drugim in tretjim mežikom je oseba gledala navzdol. Pričakovali bi, da bo v tem času znatno manjša količina črnega deleža, vendar ni, ker so zaradi priprtih oči trepalnice bolj vidne. Slika 2.16 prikazuje izhod metode ujemanja s predlogo odprtega očesa na istem posnetku. S tega signala lahko razberemo, da je v tem času oseba gledala navzdol.

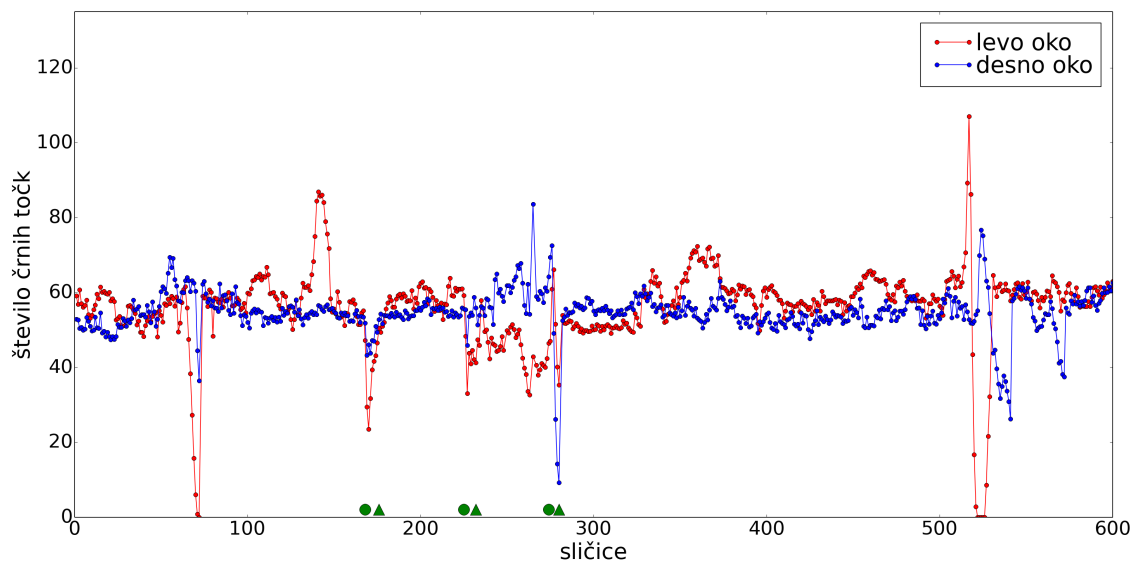
Pri pregledu sorodnih del smo našli več metod, ki so uporabile črno barvo za zaznavanje mežikov. Nekaj pristopov smo preizkusili tudi sami. Eden izmed načinov, s katerim je možno določiti odprtost očesa, je ta, da iščemo Houghove kroge. Ob odprtem očesu obstaja večja verjetnost, da bomo na



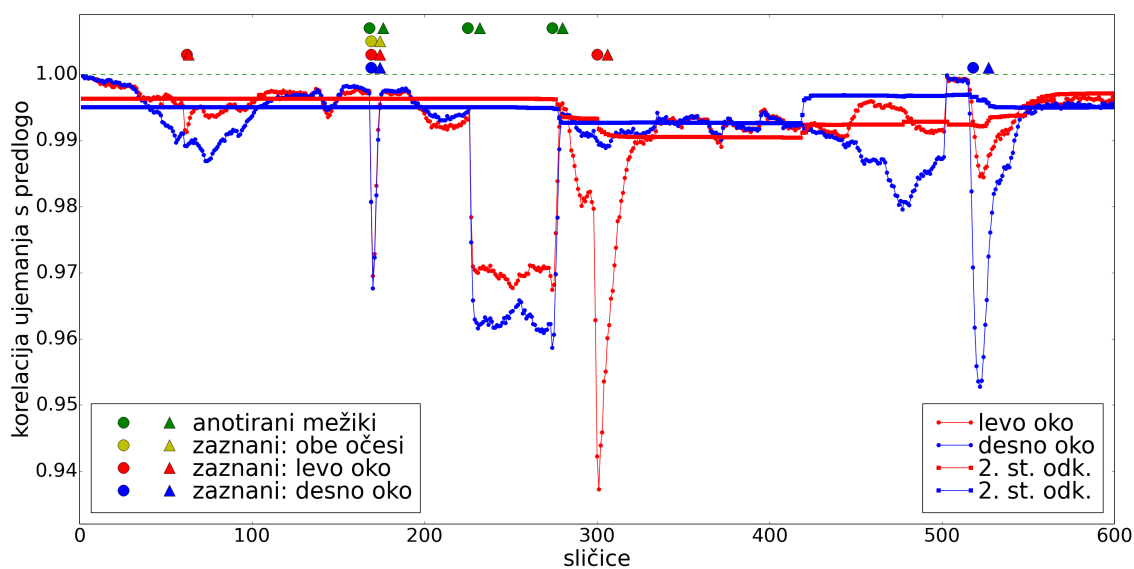
Slika 2.13: Primer obdelave območja oči za zaznavanje na podlagi količine črne barve



Slika 2.14: Primer območja oči, ko oseba mežika. Trepalnice postanejo bolj vidne, kar povzroča motnje pri zaznavanju.



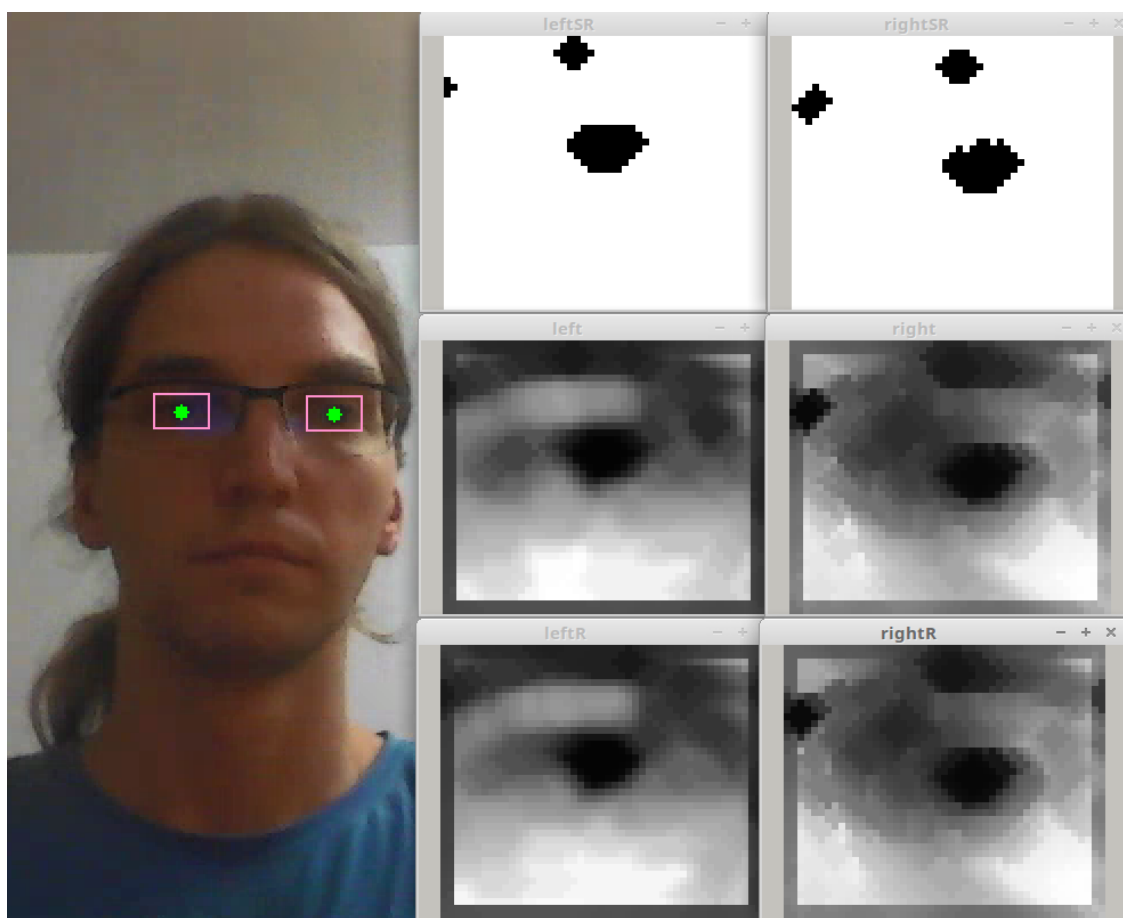
Slika 2.15: Signal, ki ga ustvari metoda zaznavanja količine črne barve v prvih 20 sekundah posnetka „Talking face“. V spodnjem delu grafa (v okolici 200) so oznake dejanskih mežikov.



Slika 2.16: Signal, ki ga ustvari metoda ujemanja s predlogo odprtega očesa v prvih 20 sekundah posnetka „Talking face“

mestu šarenice našli Houghov krog. Ko oseba zapira oko, postajata zgornji in spodnji obris vse bolj ploščata. Na žalost ta metoda ne bi dala dobrih rezultatov, ko bi bila oseba bolj oddaljena in bi imela le nekoliko odprte oči. Na takšnih posnetkih krogi, ki predstavljajo šarenico, niso dobro vidni. Take posnetke najdemo v bazi Eye blink 8.

Drugi pristop, ki uporablja črno barvo za zaznavanje mežikov, meri obliko obrisov črnih delov. Videoposnetek, ki na tak način zaznava mežike, najdemo na povezavi [30]. Metoda [30] za merjenje oblike obrisov uporablja Hujeve momente in štetje črnih pik po vodoravni in navpični liniji (angl. integral projection function). Verjamemo, da bi s to metodo dobili dobre rezultate na posnetkih dobre kakovosti, kot je na primer Talking face. Težave bi verjetno nastopile pri posnetkih s slabo osvetlitvijo. Primer posnetka je prikazan na sliki 2.17. V več trenutkih se zgodi, da postane zgornji notranji del očesa zaradi temne sence tudi označen kot črni delež.



Slika 2.17: Na sliki so jasno vidni črni deleži, ki predstavljajo šarenico, vendar se velikost in oblika spreminjata ob spremembi osvetlitve

Poglavje 3

Rezultati

Za evalvacijo metod smo uporabili več baz, na katerih so mežiki ročno označeni. Za vse baze, razen za Basler5, smo pridobili anotacije iz dela [29]. Bazo Basler5 in anotacije smo pridobili iz dela [31].

3.1 Opis baz

Baza Talking face [22] je javno dostopna. V bazi je označenih več točk na obrazu, vendar izvirna anotacija ne vsebuje mežikov. Baza vsebuje en sam posnetek, na katerem se oseba pogovarja in dokaj živo premika. Video je ločljivosti 720 x 576, dobre kakovosti, na njem je obraz velik in dobro viden.

Baza Basler5 vsebuje 5 videoposnetkov ločljivosti 640 x 480, ki so bili zajeti s hitrostjo 100 sličic na sekundo in so dobre kakovosti. Na enem posnetku oseba nosi očala. Na vseh videoposnetkih je bila oseba zajeta z zelo kratke razdalje (obraz je na posnetku zelo velik). Na videoposnetkih osebe izmenjujejo poglede med dvema točkama (verjetno med zaslonom in osebo za njim). Nekatere osebe imajo zelo bujno mimiko obraza pred odgovarjanjem (odkimavanje, tehtanje pred odgovorom, pripiranje oči).

Baza Eye blink 8 [32] je javno dostopna. Vsebuje 8 videoposnetkov ločljivosti 640 x 480, na njih je 5 različnih oseb, od teh ena oseba nosi očala. Posnetki so bili zajeti s spletno kamero prenosnih ali osebnih računalnikov.

Na nekaterih posnetkih je prenosni računalnik v naročju in zato so na posnetku opazni tresljaji. V primerjavi z bazo Basler⁵ ali videoposnetkom Talking face so na teh posnetkih obrazi bistveno manjši in v nenadzorovanem okolju. Na nekaterih posnetkih je na začetku namerno nastavljena roka pred obraz.

Baza ZJU [33] vsebuje 80 videoposnetkov, ki so dolgi samo 4–5 sekund. V bazi je 20 različnih oseb, vsaka oseba je bila posneta na štiri različne načine:

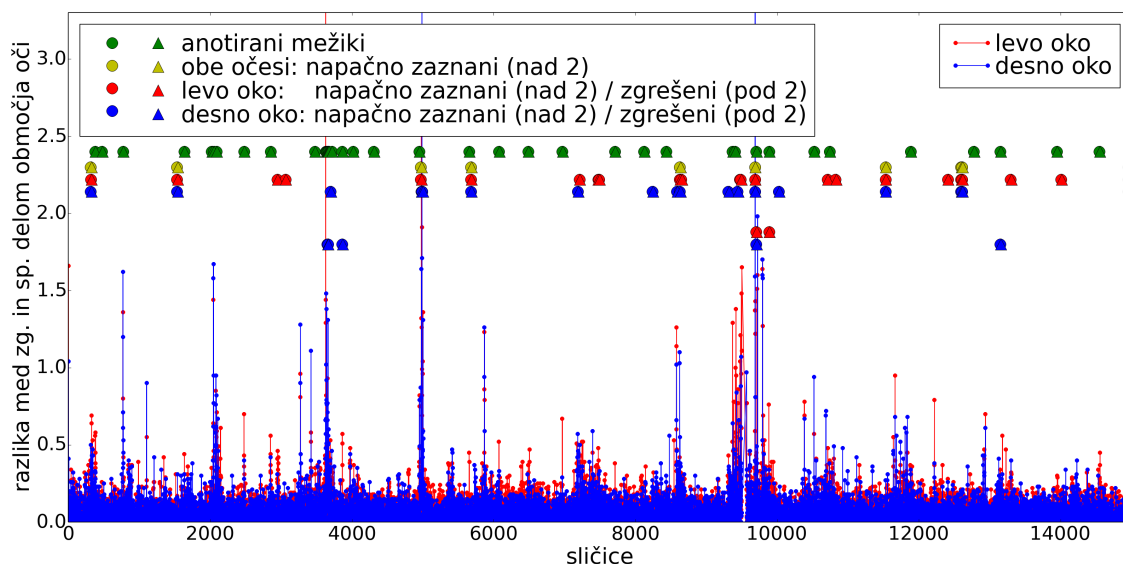
- pogled naravnost naprej brez očal,
- pogled naravnost naprej z očali s temnim okvirjem,
- pogled naravnost naprej z očali s svetlom (bleščečim) okvirjem,
- usmerjenost kamere od spodaj navzgor.

Videoposnetki so ločljivosti 320 x 240, v nenadzorovanem okolju, na njih so obrazi dobro vidni. Osebe se na posnetkih skoraj ne premikajo.

Baza Researcher's night je bila zajeta med dogodkom Researcher's night leta 2014. Baza vsebuje 38 posnetkov, ki so bili zajeti s 15 sličicami na sekundo, in 69 posnetkov, zajetih s 30 sličicami na sekundo. Videoposnetki so ločljivosti 640 x 480. Na posnetkih so osebe različno oddaljene od kamere, posnetki so zajeti v različnih okoljih (na nekaterih posnetkih je v ozadju bleščeče okno). Osebe na posnetku opravljajo različne naloge (berejo, se pogovarjajo) in izražajo različne obrazne mimike. Približno 20 % oseb nosi očala.

3.2 Metoda zaznavanja premikov na območju oči

Na uspešnost metode vpliva veliko parametrov. Zgrešeni in napačno zaznani mežiki se večinoma zgodijo, kadar oseba izrazito premika glavo in če merimo mežike na napačni lokaciji. Podobno se zgodi tudi, če se kamera trese



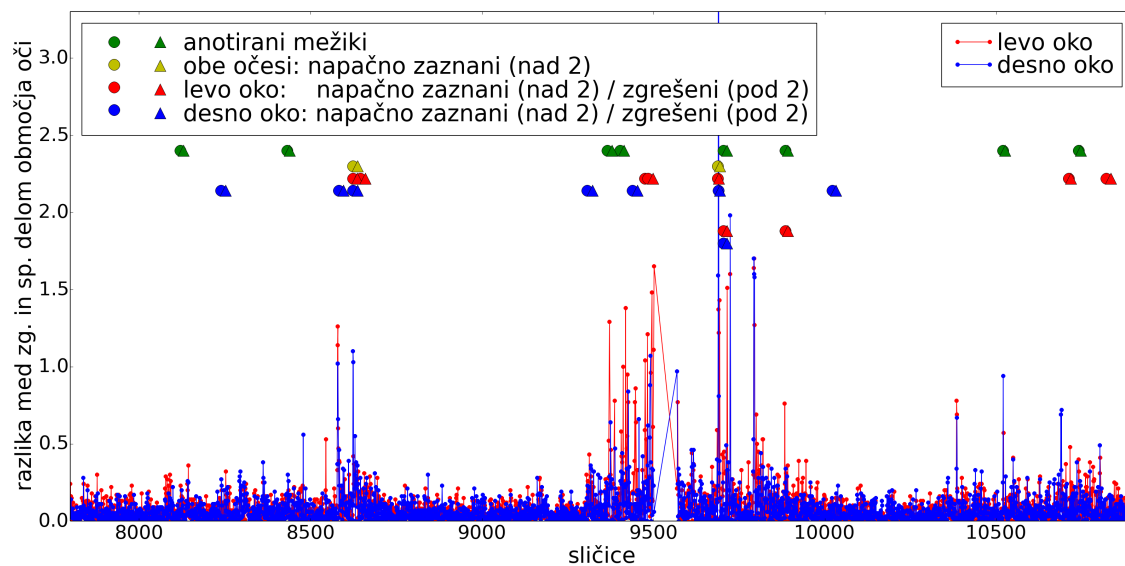
Slika 3.1: Zgrešeni mežiki v povezavi z nestabilnostjo območja oči

(prenosni računalnik v naročju, nestabilna miza) in zaradi tega izgubljam natančno lokacijo zenice.

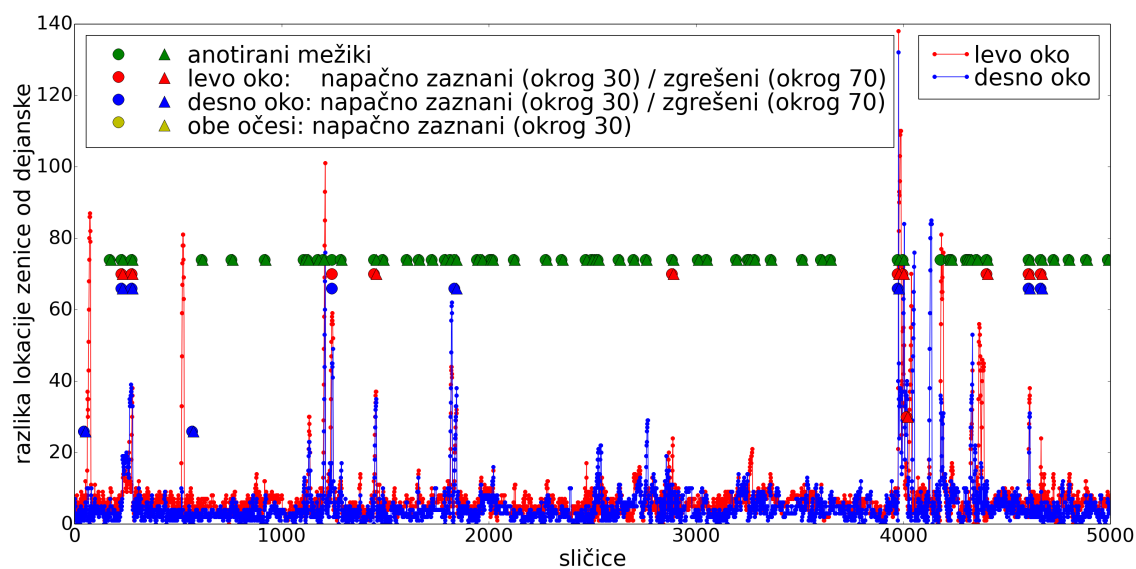
Na začetku smo predpostavili, da bo metoda ustrezna tudi pri tovrstnih dogodkih, vendar se je kasneje izkazalo, da pri metodi Farneback bolj hrapave površine ustvarijo močnejše vektorje. Zaradi tega se ob izgubi lokacije oči ustvari močnejši signal kot takrat, ko oseba ne mežika.

Na slikah 3.1 in 3.2 je prikazana razlika vsote zgornjega in spodnjega dela območja oči (zunaj okolice zenice). Na slikah so pod vrednostjo 2 (os y) prikazani zgrešeni mežiki in nad vrednostjo 2 napačno zaznani mežiki. Iz obeh slik je razvidno, da običajno zgrešimo in napačno zaznamo mežike, kadar postane območje oči (zunaj okolice zenice) nestabilno. Razlog je v tem, da zaradi nestabilnosti signala naraste standardni odklon. V začetnem delu je končni avtomat dovzeten za napačno zaznane mežike, v kasnejši fazi, ko standardni odklon naraste, pa jih zgreši.

Na sliki 3.3 je prikazana povezava med zgrešenimi mežiki in neuspešnostjo lociranja natančne lokacije zenice. Na žalost v realnem času dejanska lokacija zenice ni na voljo.



Slika 3.2: Napačno zaznani mežiki v korelaciji z nestabilnostjo območja oči



Slika 3.3: Povezava med zgrešenimi mežiki in povečano razliko med dejansko in zaznano lokacijo zenice

3.2.1 Parametri metode

Ob mežikih se algoritem za iskanje zenice pogosto izgubi, zato smo dodali logiko, da v primeru, če se zenica premakne za nerazumno razdaljo in se potem spet vrne, štejemo vmesni čas, kot da je bila zenica ves čas na istem mestu. Pri eksperimentih smo ugotovili, da 500 milisekund daje dobre rezultate, verjetno bi pa lahko našli še bolj natančno vrednost.

Za odčitavanje mežikov uporabljamo končni avtomat. Pri avtomatu je pomembno to, kako intenzivne in dolge mežike še priznavamo. Intenzivnost določimo z dvostopenjskim standardnim odklonom. Pri eksperimentih smo ugotovili, da dobimo dobre rezultate, če za računanje druge faze standardnega odklona upoštevamo signal, ki ne presega dveh standardnih odklonov ob prvem izračunu. Če bi izbrali večjo vrednost, bi se ob motnjah prag hitreje dvignil. Imeli bi manj napačno zaznanih mežikov, vendar bi tudi izgubljali mežike, če bi oseba v nekem časovnem oknu veliko mežikala. Pri končnem avtomatu upoštevamo odstopanje signala (faktor standardnega odklona), ki smo ga pridobili ob drugem izračunu. Časovno okno, v katerem računamo standardni odklon, igra pomembno vlogo pri uspešnosti metode. Če izberemo krajše časovno okno, je metoda bolj odzivna na spremembe, vendar bolj dovzetna za napačno zaznane mežike. Pri eksperimentih smo ugotovili, da je najprimernejše 18-sekundno časovno okno.

Končni avtomat upošteva, da je signal presegel spodnjo vrednost, če presega 4 standardne odklone, in da je presegel zgornjo vrednost, če presega 3,5 standardnega odklona. Za to razliko smo se odločili, ker se oči v povprečju hitreje zapirajo kot odpirajo in zato ustvarijo močnejši signal.

Končni avtomat zazna mežik, če je signal presegel spodnjo vrednost in zatem zgornjo vrednost v manj kot 500 ms. Omejitev za ponovni prehod iz pozitivnega stanja v negativno smo nastavili na 1000 ms. Razlog je v tem, da ob premikih glave signal ne preide kmalu po mežiku iz pozitivnega stanja v negativno. To je vidno tudi na sliki 2.5.

3.2.2 Rezultati nad bazami

V tabeli 3.1 so prikazani rezultati metode nad vsemi bazami, ki smo jih pridobili. Podrobnejši rezultati nad posamezno bazo so pripeti v dodatkih 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 in 5.7.

Pri vseh tabelah smo uporabili enak način prikaza rezultatov. Kratice stolpcev v tabeli 3.1 pomenijo naslednje (od leve proti desni):

- ime baze,
- A - število ročno označenih (anotiranih) mežikov (P - pozitivni; angl. positives),
- O - število mežikov, ki jih je naša metoda zaznala na obeh očeh hkrati,
- L - število mežikov, ki jih je naša metoda zaznala samo na levem očesu,
- D - število mežikov, ki jih je naša metoda zaznala samo na desnem očesu,
- Z - število zgrešenih mežikov (anotirani minus zaznani na obeh očeh hkrati) (NN - napačno negativni; angl. false negatives),
- Zr - število zgrešenih mežikov zaradi izgube natančne lokacije zenice,
- PP % - odstotek pravilno zaznanih mežikov (PP - pravilno pozitivni; angl. true positives),
- NP - število napačno zaznanih mežikov (NP - napačno pozitivni; angl. false positives),
- NP % - odstotek napačno zaznanih mežikov v primerjavi s številom ročno označenih mežikov ($NP/P \cdot 100$).

Baza	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
Talking face	61	50	1	4	11	9	82,0	0	0,00
Eye blink 8	408	306	36	28	102	37	75,0	35	8,58
Basler5	300	262	11	8	38	?	87,3	22	7,33
Researcher's night 15	706	296	75	72	410	101	41,9	16	2,27
Researcher's night 30	1143	782	117	84	361	122	68,4	125	10,94
ZJU privzeto	261	109	29	36	152	37	41,8	1	0,38
ZJU prilagojen	261	182	23	23	79	30	69,7	3	1,15

Tabela 3.1: Rezultati nad bazami, ki smo jih pridobili.

Iz tabele 3.1 lahko razberemo, da je znaten delež zgrešenih mežikov posledica izgube lokacije zenice. Šteli smo, da je mežik kot posledica izgube lokacije zenice zgrešen, če je v časovnem intervalu ročno označenega mežika lokacija zenice v povprečju odstopala več kot 15 točk od dejanske lokacije po Manhattnovi razdalji. Slika 3.3 prikazuje odstopanje videoposnetka baze Talking face. Tu sta samo dva zgrešena mežika, ki nista posledica izgube lokacije zenice.

V bazi Eye blink 8 imamo večje število napačno zaznanih mežikov. Večino napačno zaznanih mežikov bi lahko odpravili, če bi upoštevali informacijo, ki jo lahko pridobimo z merjenjem razlike vsote zgornjega in spodnjega dela območja zaznavanja. Primer merjenja razlike vsote videoposnetka iz baze Eye blink 8 je prikazan na sliki 3.2. Večina napačno zaznanih in zgrešenih mežikov, ki niso posledica izgube lokacije zenice, je zaradi odmaknjenega standardnega odklona. Ta se zgodi ob premikanju glave, ki je prej mirovala, ali tresenju kamere (prenosnik v naročju).

Pri anotacijah baze Basler5 nismo imeli na voljo lokacije oči. Iz tabele 5.3, ki je priložena v dodatku, je razvidno, da smo večino mežikov zgrešili pri osebi, ki je nosila očala, in pri osebi, ki je spreminjala položaj obraza ob izmenjevanju pogleda. V teh primerih je algoritem za iskanje zenice večkrat za kratek čas napačno lociral obrv.

Videoposnetki iz baze Researcher's night so bili posneti v prostorih s slabo

osvetlitvijo. Pri večini videoposnetkov je oseba stala dlje stran, zato so bile oči na sličicah zelo majhne. V veliko primerih optični tok ni zaznal znatnega premika, zato smo zgrešili mežike. Napačno zaznani mežiki so se običajno zgodili ob premikih glave, npr. ob kimanju.

Pri bazi ZJU smo podali rezultate z dvema nastavitvama standardnega odklona. Razlog je v tem, da pri ostalih posnetkih merimo standardni odklon 18 sekund, saj se je ta vrednost izkazala za najboljšo. Pri krajših časovnih oknih je metoda bolj dovzetna za napačno zaznane mežike, pri daljših pa za zgrešene mežike. Videoposnetki v bazi ZJU trajajo le 4–5 sekund. Pri več posnetkih oseba mežikne tudi 5–6 krat, kar pomeni 60–90 mežikov na minuto. Z gotovostjo lahko trdimo, da mežiki niso bili popolnoma spontani. V bazi Researcher's night lahko zasledimo tudi posnetke dolžine 1–2 minuti brez mežika ali z enim samim mežikom. Običajno mežikajo otroci bistveno redkeje kot odrasli ljudje. Zaradi tako velikega števila mežikov v tako kratkem časovnem oknu smo izvedli še meritev z zmanjšanim standardnim odklonom. Večina zgrešenih mežikov se je zgodila zaradi izgube lokacije zenice. Na določenih posnetkih s pogledom navzgor optični tok ni razbral znatne razlike, zato avtomat ni razbral mežikov na signalu.

3.2.3 Računska zahtevnost

Računska zahtevnost je odvisna od velikosti obraza na sličicah in premikov obraza. V tabeli 3.2 je prikazana hitrost izvajanja videoposnetkov. Hitrostni test je bil izveden na prenosnem računalniku s procesorjem i7-3610QM.

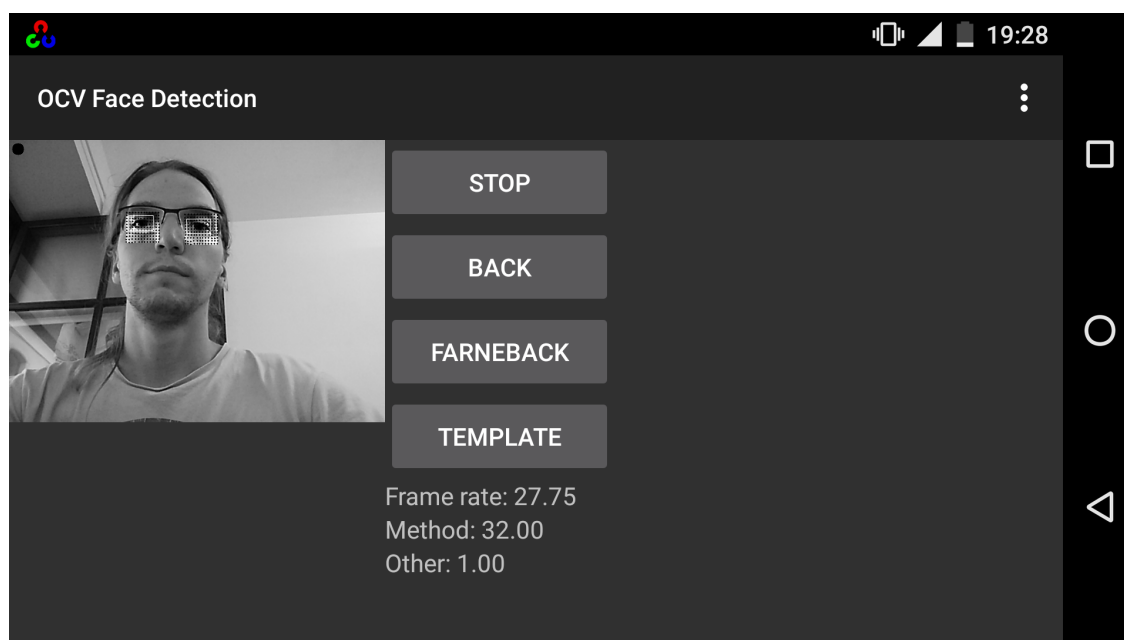
Posnetek	Št. sličic	Čas testa	Čas posnetka	Ločljivost	Velikost obraza
Talking face	5000	1 m 40 s	3 m 19 s	720 x 576	velik
26122013_223310 (Eye blink 8)	15832	2 m 28 s	8 m 54 s	640 x 480	majhen
poli1person6 (Basler5)	8128	1 m 32 s	1m 21 s	640 x 480	velik

Tabela 3.2: Rezultati hitrostnih testov

V tabeli 3.2 je prvi posnetek iz baze Talking face, kjer oseba veliko premika glavo. Iz tabele lahko razberemo, da bi se metoda zlahka izvajala v realnem času. Drugi posnetek je iz baze Eye blink 8. Tu oseba večino časa ne premika glave. Iz tabele lahko razberemo, da bi se metoda zlahka izvajala v realnem času. Tretji posnetek je bil zajet s hitrostjo 100 sličic na sekundo pri ločljivosti 640 x 480, na posnetku pa je obraz zajet s kratke razdalje. V tem primeru bi metoda sčasoma začela zaostajati. Medpomnilnik bi postajal vse bolj zaseden, nato bi dosegel omejitve. Trenutno imamo nastavljeno, da sličice prenehamo shranjevati v medpomnilnik, če postane vrsta daljša od 30 sekund posnetka. Ko se vrsta sprazni, začnemo znova zajemati sličice v medpomnilnik. V tem primeru se to ne bi zgodilo, ker je zaostanek le 11 sekund. Zagotovo bi lahko še izboljšali hitrost metode, predvsem algoritem za lociranje zenice. Za tovrstno aplikacijo si želimo, da zahteva čim manj sistemskih virov, predvsem kadar se izvaja, ko je prenosni računalnik na bateriji.

3.2.4 Računska zahtevnost na pametnem telefonu

Metodo smo preizkusili na dveh pametnih telefonih. Prvi je LG Nexus 5. Telefon ima 4 jedra s frekvenco 2,3 GHz in 2 GB pomnilnika RAM. Prednja kamera omogoča zajemanje sličic ločljivosti do 640 x 480 s hitrostjo do 30 sličic na sekundo. Aplikacijo za pametni telefon smo zasnovali tako, da uporablja 2 niti. Prva nit skrbi za uporabniški vmesnik in zajemanje sličic, ki se izvajata v ozadju tj. tudi ko zaklenemo zaslon – telefon gre v mirovanje.

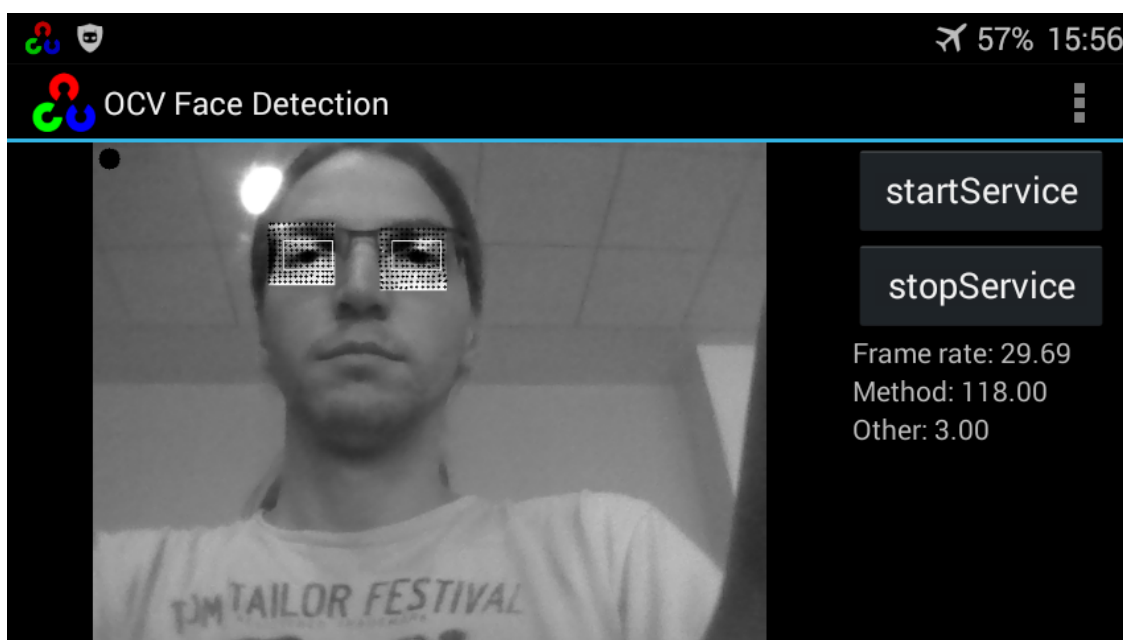


Slika 3.4: Izvajanje metode na pametnem telefonu LG Nexus 5

Druga nit skrbi za procesiranje sličic. Večino časa je obremenjeno samo eno jedro procesorja.

Pri testu smo ugotovili, da metoda lahko teče v realnem času, če je oseba dovolj oddaljena od kamere in se ne premika veliko. Slika 3.4 prikazuje izvajanje metode na telefonu LG Nexus 5. Zajemanje sličic se je izvajalo s hitrostjo 27–29 sličic na sekundo, kar pomeni, da so imele druge operacije 35–37 ms časa za obdelavo sličice. V konkretnem primeru se je izvajala obdelava sličic 33 ms.

Drugi telefon, na katerem smo testirali metodo, je Sony Ericsson Xperia Ray. Telefon je znatno starejši, ima eno jedro s frekvenco 1 GHz in 512 MB pomnilnika RAM. Telefon smo nadgradili na CyanogenMod 11, ki je veja sistema Android različice 4.4.4. Ta sistem omogoča tudi navijanje procesorja do frekvence 1,4 GHz. Pri testih smo ugotovili, da se sistem ob navitem procesorju odziva malenkost hitreje. Prednja kamera telefona omogoča zajemanje sličic ločljivosti 640 x 480 s hitrostjo do 30 sličic na sekundo. Slika 3.5



Slika 3.5: Izvajanje metode na pametnem telefonu Sony Ericsson Xperia Ray

prikazuje izvajanje metode na telefonu Sony Ericsson Xperia Ray. Pri testih smo ugotovili, da bi metoda procesirala približno tretjino realnega časa, kadar se oseba ne premika veliko. Ob hitrosti zajemanja 30 sličic na sekundo ima metoda le 33 ms časa za procesiranje sličice.

3.3 Metoda ujemanja s predlogo odprtega očesa

Metodo smo preizkusili z enakim naborom baz kot metodo zaznavanja premikov.

3.3.1 Parametri metode

Podobno kot pri metodi zaznavanja premikov smo morali tudi pri tej metodi nastaviti nekatere parametre, ki pomembno vplivajo na uspešnost zaznavanja mežikov. Tudi pri tej metodi se včasih zgodi, da ob mežiku izgubimo lokacijo, ob povratku pa jo znova najdemo. Pri eksperimentih smo ugotovili,

da dobimo dobre rezultate, če omejimo čas na 500 ms. Intenzivnost odklonov signala, ki predstavljajo mežike, določimo z dvostopenjskim standardnim odklonom, ki je bil izračunan na odvodu signala. Podobno kot pri metodi zaznavanja premikov tu izračunamo prvi standardni odklon z namenom, da pri drugem izračunu ne upoštevamo izjemnih odstopanj. Pri drugem izračunu standardnega odklona ne upoštevamo signala, ki presega 4 standardne odklone ob prvem izračunu. Standardni odklon merimo v časovnem oknu 10 sekund. Štejemo, da signal, ki odstopa 5 standardnih odklonov (ob drugem izračunu), predstavlja mežik. Točki, med katerima merimo temensko vrednost signala, sta oddaljeni 500 ms.

3.3.2 Rezultati nad bazami

V tabeli 3.3 so prikazani rezultati nad bazami. Rezultati nad posameznim videoposnetkom so priloženi v dodatkih 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 in 5.14.

Stolpci tabele 3.3 imajo enak pomen kot pri tabeli 3.1. Pri tej metodi nismo našli načina, s katerim bi lahko zanesljivo merili razdaljo med zaznano in dejansko lokacijo oči (stolpec Zr).

Baza	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
Talking face	61	40	4	1	21	65,6	2	3,28
Eye blink 8	408	310	23	20	98	76,0	89	21,81
Basler5	300	260	7	2	40	86,7	75	25,00
Researcher's night 15	706	267	64	57	439	37,8	35	4,96
Researcher's night 30	1143	622	137	83	521	54,4	280	24,50
ZJU privzeto	261	140	11	15	121	53,6	1	0,38
ZJU prilagojen	261	190	1	5	71	72,8	4	1,53

Tabela 3.3: Rezultati nad bazami, metode ujemanja s predlogo odprtega očesa

Ob primerjavi rezultatov z metodo zaznavanja premikov ugotovimo, da smo pri tej metodi dosegli nekoliko slabše rezultate. Tu imamo večji delež

napačno zaznanih mežikov in manjši delež pravilno zaznanih mežikov. Verjamemo, da bi z več prilagoditvami dosegli znatno boljše rezultate. Pri eksperimentih smo ugotovili, da metoda očem sledi občutno bolje kot metoda zaznavanja premikov, vendar je bolj dovzetna za zgrešitev mežikov in napačno zaznane mežike zaradi premikov glave. Pri tej metodi je težje analizirati rezultate, ker se zanašamo zgolj na korelacijo. Ko oseba premakne pogled, postane osnovna korelacija nižja. Zaradi tega dobimo manjša odstopanja v signalu, ko oseba zares mežikne. Ob dvigu obrvi dobimo signal podobne oblike, kot ga ustvarijo mežiki. Podobno kot pri metodi zaznavanja premikov se včasih zgodi, da oseba dalj časa miruje in zato tega postane standardni odklon majhen, metoda pa bolj občutljiva na manjša odstopanja. Zaradi tega se večkrat zgodi, da napačno zaznamo mežike. Podobno kot pri metodi zaznavanja premikov smo tudi tu izvedli dve meritvi nad bazo ZJU. Z znižanjem faktorja standardnega odklona s 5 na 2 smo dobili boljše rezultate.

3.3.3 Računska zahtevnost

Na računsko zahtevnost pri metodi ujemanja s predlogo odprtega očesa vplivata ločljivost posnetka in velikost obraza na posnetku. Na računsko zahtevnost vpliva tudi velikost območja zaznavanja, zato na vsaki sličici to območje zgladimo in ga uporabimo za izračun ujemanja s predlogo. V tabeli 3.4 so prikazani rezultati nad enakim naborom posnetkov kot pri metodi zaznavanja premikov. Iz tabele razberemo, da deluje metoda bistveno hitreje od metode zaznavanja premikov. Razlog je v tem, da pri tej metodi še sledimo očem v istem hipu, ko merimo ujemanje s predlogo. Tabela 3.5 prikazuje primerjavo računske zahtevnosti osnovne operacije vsake metode. Iz tabele razberemo, da je ujemanje s predlogo na določenem območju približno 2–3 krat hitrejše od računanja optičnega toka na območju, ki smo ga izbrali pri metodi zaznavanja premikov.

Posnetek	Št. sličic	Čas testa	Čas posnetka	Ločljivost	Velikost obrazca
Talking face	5000	12,8 s	3 m 19 s	720 x 576	velik
26122013_223310 (Eye blink 8)	15832	23,2 s	8 m 54 s	640 x 480	majhen
poli1person6 (Basler5)	8128	22,8 s	1 m 21 s	640 x 480	velik

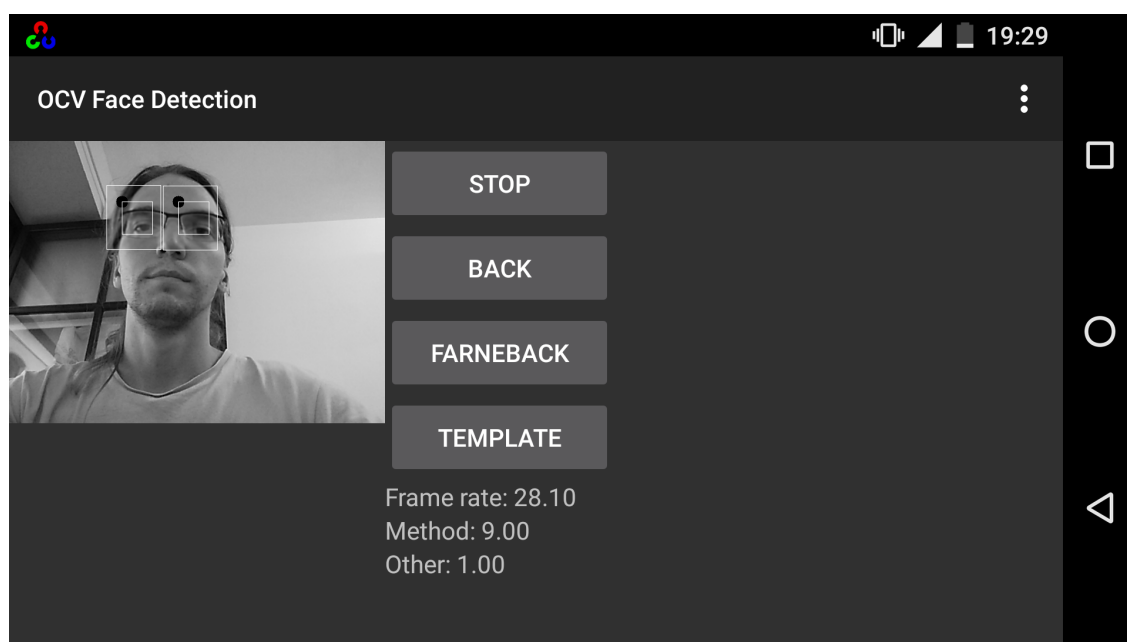
Tabela 3.4: Rezultati hitrostnih testov metode ujemanja s predlogo odprtega očesa

Posnetek	Ujemanje s predlogo	Optični tok	Ločljivost	Velikost obrazca
Talking face	1,9 ms	5,5 ms	720 x 576	velik
27122013_154548 (Eye blink 8)	0,6 ms	1,4 ms	640 x 480	srednje velik

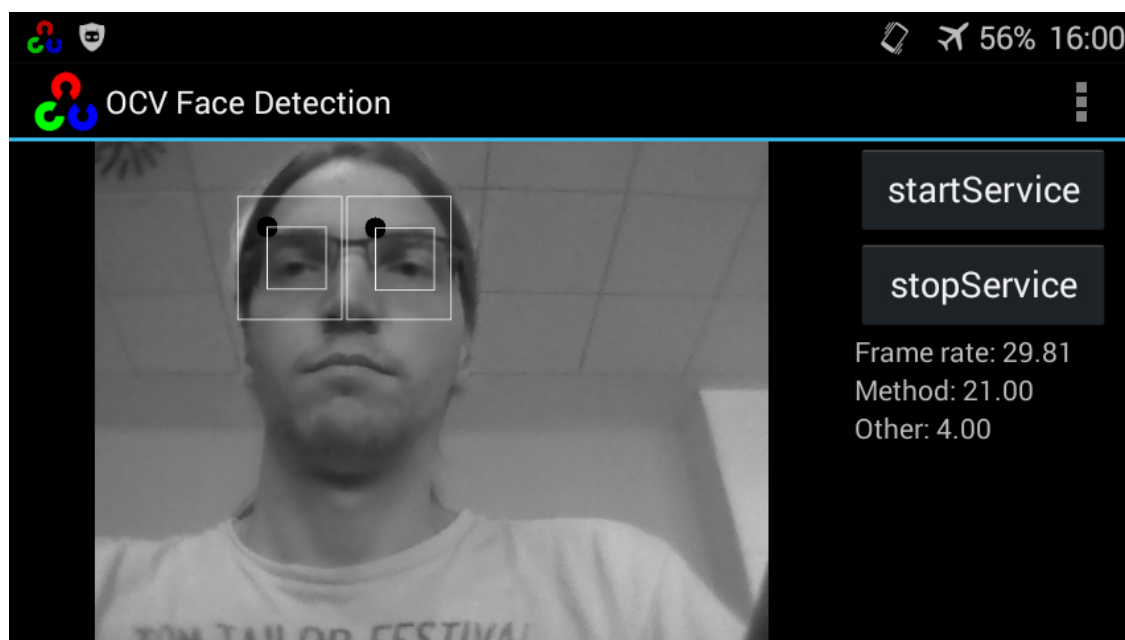
Tabela 3.5: Primerjava hitrosti osnovne operacije metode ujemanja s predlogo in metode zaznavanja premikov

3.3.4 Računska zahtevnost na pametnem telefonu

Delovanje metode smo preizkusili na istih dveh pametnih telefonih kot pri metodi zaznavanja premikov. Slika 3.6 prikazuje delovanje metode na pametnem telefonu LG Nexus 5. Metoda lahko teče v realnem času in ima pri tem še veliko rezerve. V konkretnem primeru domnevamo, da proceser ni deloval na maksimalni razpoložljivi frekvenci. Slika 3.7 prikazuje delovanje metode na pametnem telefonu Sony Ericsson Xperia Ray. S slike lahko razberemo, da metoda lahko teče v realnem času, saj traja procesiranje približno 25 ms, čas zajemanja zaporednih sličic pa 33 ms. Slike na uporabniškem vmesniku posodabljammo približno 5-krat na sekundo. Če jo posodabljammo pogosteje, začne ta proces zavirati hitrost delovanja metode, ker ima procesor na tem pametnem telefonu le eno jedro. Kadar se izvaja aplikacija ob zaklenjenem zaslonu v ozadju, ima metoda na voljo še nekoliko več procesorskega časa.



Slika 3.6: Izvajanje metode ujemanja s predlogo na pametnem telefonu LG Nexus 5



Slika 3.7: Izvajanje metode ujemanja s predlogo na pametnem telefonu Sony Ericsson Xperia Ray

Poglavje 4

Zaključek

V magistrskem delu smo implementirali in podrobno preučili tri metode, s katerimi je možno zaznati mežike. Ugotovili smo, da je težko zasnovati metodo, ki bi delovala zanesljivo v vseh okoliščinah.

Z metodo zaznavanja premikov smo dosegli najboljše rezultate. Metoda ima največ težav pri zaznavanju na sličicah z nizko hitrostjo zajemanja. V takšnem primeru dobimo signal, na katerem mežiki niso tako dobro vidni kot sicer. Slabši signal dobimo tudi v primeru, če je oseba zajeta z večje razdalje. V takšnem primeru je na sliki več šuma. Velik delež mežikov smo zgrešili tudi zaradi neuspešnosti sledenja očem. Pri evalviranju metode ujemanja s predlogo odprtega očesa smo ugotovili, da je sledenje očem z uporabo predloge boljše kot z iskanjem zenice, ker ob premikih manjkrat izgubi lokacijo zenice. Možna izboljšava metode zaznavanja premikov bi bila, da bi očem sledili z uporabo predloge. Zenico bi iskali samo takrat, ko se oseba ne bi premikala.

Z metodo ujemanja s predlogo odprtega očesa smo prav tako dosegli dobre rezultate. Največja prednost metode je, da deluje zelo hitro. Kakovost zaznavanja bi lahko izboljšali tako, da bi predlogo odprtega očesa posodabljali pogostejše in takrat, ko se oseba ne bi premikala. Pri merjenju standardnega odklona na odvodu signala bi morali izključevati dogodke, ki ustvarjajo izjemna odstopanja. Tako bi dosegli stabilnejši signal in zanesljivejše zaznavanje

mežikov.

Pri zaznavanju količine črne barve nismo našli načina, s katerim bi lahko zanesljivo zaznavali mežike v vseh okoliščinah. Ob dobri sliki bi lahko zaznavali mežike z merjenjem oblike kroga, ki predstavlja šarenico, vendar nismo našli načina, ki bi deloval zanesljivo tudi v slabših razmerah.

Verjamemo, da je možno doseči tako dobro zaznavo mežikov, kot jih lahko zazna človek. Takšna metoda bi morala bolje posnemati način, ki ga uporabljamo ljudje za zaznavo mežikov. Pri tem bi verjetno lahko uporabili strojno učenje, tu je bilo v zadnjih letih ogromno razvoja. S tem se trenutno nismo ukvarjali. Želeli smo zgraditi metodo, ki ima zadovoljivo uspešnost zaznavanja v težavnih okoliščinah in še vedno teče v realnem času.

Literatura

- [1] A. Hazarika, P. Singh, Computer vision syndrome, SMT Medical Journal 1 (2) (2014) 132 – 138.
- [2] S. C. Reddy, C. Low, Y. Lim, L. Low, F. Mardina, M. Nursaleha, Computer vision syndrome: a study of knowledge and practices in university students, Nepalese Journal of Ophthalmology 5 (2) (2013) 161–168.
- [3] P. Polatsek, Eye blink detection, IIT. SRC (2013) 1–8.
- [4] M. Rosenfield, Computer vision syndrome: a review of ocular causes and potential treatments, Ophthalmic and Physiological Optics 31 (5) (2011) 502–515.
- [5] K. Tsubota, K. Nakamori, Dry eyes and video display terminals, New England Journal of Medicine 328 (8) (1993) 584–584.
- [6] M. Divjak, H. Bischof, Eye blink based fatigue detection for prevention of computer vision syndrome, in: IAPR Conference on Machine Vision Applications MVA2009, Yokohama, Japan, 2009, pp. 350 – 353.
- [7] Očala za delo z računalnikom, <http://lifehacker.com/5980509/do-computer-glasses-really-work>, dosegljivo: 2016-07-20.
- [8] J. Kundart, J. R. Hayes, Y.-C. Tai, J. Sheedy, Gunnar optiks study: Accommodation and symptoms (2007), Vision Ergonomics Research Group (2007) 2.

-
- [9] Programska oprema redshift, <http://jonls.dk/redshift/>, dosegljivo: 2016-07-20.
 - [10] Programska oprema f.lux, <https://justgetflux.com/>, dosegljivo: 2016-07-20.
 - [11] J. He, S. Roberson, B. Fields, J. Peng, S. Cielocha, J. Coltea, Fatigue detection using smartphones, *Journal of Ergonomics* 3 (3).
 - [12] Y. Kim, Detection of eye blinking using doppler sensor with principal component analysis, *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE* 14 (2015) 123–126.
 - [13] M. Saradadevi, P. Bajaj, Driver fatigue detection using mouth and yawning analysis, *International Journal of Computer Science and Network Security* 8 (6) (2008) 183–188.
 - [14] H. Fujishima, I. Toda, M. Yamada, N. Sato, K. Tsubota, Corneal temperature in patients with dry eye evaluated by infrared radiation thermometry., *British journal of ophthalmology* 80 (1) (1996) 29–32.
 - [15] K. Sampei, M. Ogawa, C. C. C. Torres, M. Sato, N. Miki, Mental fatigue monitoring using a wearable transparent eye detection system, *Micro-machines* 7 (2) (2016) 20.
 - [16] A. Królak, P. Strumillo, Eye-blink detection system for human–computer interaction, *Universal Access in the Information Society* 11 (4) (2012) 409–419.
 - [17] M. Haak, S. Bos, S. Panic, L. Rothkrantz, Detecting stress using eye blinks and brain activity from eeg signals, *Proceeding of the 1st driver car interaction and interface (DCII 2008)* (2009) 35–60.
 - [18] E. Miluzzo, T. Wang, A. Campbell, Eyephone: activating mobile phones with your eyes, in: *Proceedings of the second ACM SIGCOMM wor-*

- kshop on Networking, systems, and applications on mobile handhelds, ACM, 2010, pp. 15 – 20.
- [19] S. Han, S. Yang, J. Kim, M. Gerla, Eyeguardian: a framework of eye tracking and blink detection for mobile device users, in: Proceedings of the Twelfth Workshop on Mobile Computing Systems & Applications, ACM, 2012, article no. 6.
- [20] B. Singh, P. Rajiv, M. Chandra, Lie detection using image processing, in: Advanced Computing and Communication Systems, 2015 International Conference on, IEEE, 2015, pp. 1–5.
- [21] M. Lalonde, D. Byrns, L. Gagnon, N. Teasdale, D. Laurendeau, Real-time eye blink detection with gpu-based sift tracking, in: Computer and Robot Vision, 2007. CRV'07. Fourth Canadian Conference on, IEEE, 2007, pp. 481–487.
- [22] Talking face video, http://www-prima.inrialpes.fr/FGnet/data/01-TalkingFace/talking_face.html, dosegljivo: 2016-07-20.
- [23] M. Chau, M. Betke, Real time eye tracking and blink detection with usb cameras, Tech. rep., Boston University Computer Science Department (2005).
- [24] K. Tsubota, Tear dynamics and dry eye, Progress in retinal and eye research 17 (4) (1998) 565–596.
- [25] K. Grauman, M. Betke, J. Gips, G. R. Bradski, Communication via eye blinks-detection and duration analysis in real time, in: Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on, Vol. 1, IEEE, 2001, pp. I–1010.
- [26] G. Farnebäck, Two-frame motion estimation based on polynomial expansion, in: Scandinavian conference on Image analysis, Springer, 2003, pp. 363–370.

-
- [27] F. Timm, E. Barth, Accurate eye centre localisation by means of gradients., VISAPP 11 (2011) 125–130.
 - [28] Izvorna koda za iskanje zenice po metodi [27], <https://github.com/trishume/eyeLike>, dosegljivo: 2016-07-20.
 - [29] A. Fogelton, W. Benesova, Eye blink detection based on motion vectors analysis, Computer Vision and Image Understanding.
 - [30] Zaznavanje mežikov na podlagi oblike obrisov, <https://www.youtube.com/watch?v=R8m4ovTZSYA>, dosegljivo: 2016-07-20.
 - [31] K. Radlak, B. Smolka, A novel approach to the eye movement analysis using a high speed camera, in: Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA), 2012 2nd International Conference on, IEEE, 2012, pp. 145–150.
 - [32] Eyeblick8 database, <http://www2.fiit.stuba.sk/~fogelton/acvr2014/index.html>, dosegljivo: 2016-07-20.
 - [33] Zju eyeblink database, http://www.cs.zju.edu.cn/~gpan/database/db_blink.html, dosegljivo: 2016-07-20.

Poglavje 5

Dodatek

5.1 Metoda zaznavanja premikov na območju oči

Tabela 5.1: Rezultati nad bazo Talking face [22]

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
N	3:19	talking	61	50	1	4	11	9	82,0	0	0,00

Tabela 5.2: Rezultati nad bazo Eye blink 8 [32]

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
N	6:23	26122013_224532	88	65	2	7	23	6	73,9	1	1,14
N	3:01	26122013_230654	31	22	3	2	9	0	71,0	0	0,00
N	8:54	26122013_223310	38	32	4	1	6	2	84,2	12	31,58
N	5:13	26122013_230103	65	45	4	11	20	2	69,2	6	9,23
N	5:57	27122013_151644	30	26	1	1	4	1	86,7	12	40,00
N	2:52	27122013_152435	41	35	0	1	6	2	85,4	2	4,88
N	5:04	27122013_153916	72	63	4	3	9	7	87,5	2	2,78
D	2:44	27122013_154548	43	18	18	2	25	17	41,9	0	0,00
			408	306	36	28	102	37	75,0	35	8,58

Tabela 5.3: Rezultati nad bazo Basler5 [31]

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
N	2:40	polilperson2	32	27	2	2	5	?	84,4	6	18,75
N	1:21	polilperson6	33	32	1	0	1	?	97,0	7	21,21
D	1:54	polilperson10	99	87	4	1	12	?	87,9	0	0,00
N	2:11	polilperson26	81	77	1	0	4	?	95,1	3	3,70
N	1:42	polilperson21	55	39	3	5	16	?	70,9	6	10,91
			300	262	11	8	38	?	87,3	22	7,33

Tabela 5.4: Rezultati nad bazo Researcher's night 15 [29]

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
D	2:44	181912	7	3	0	3	4	0	42,9	0	0,00
N	1:21	203647	17	8	0	2	9	5	47,1	0	0,00
N	1:18	204021	5	3	0	2	2	0	60,0	1	20,00
N	1:01	205740	3	2	0	0	1	0	66,7	1	33,33
D	1:31	210519	3	0	0	3	3	1	0,0	0	0,00
N	2:50	211047	52	26	6	10	26	2	50,0	0	0,00
N	1:40	175102	52	23	11	7	29	9	44,2	0	0,00
N	1:24	175705	8	2	2	0	6	5	25,0	0	0,00
N	1:03	180329	13	8	1	2	5	0	61,5	0	0,00
N	0:57	180951	22	13	2	2	9	1	59,1	0	0,00
N	2:14	211637	12	6	1	1	6	3	50,0	2	16,67
N	2:23	183209	6	2	1	0	4	1	33,3	0	0,00
N	0:37	185953	11	3	0	0	8	0	27,3	0	0,00
N	0:38	191626	7	1	0	0	6	3	14,3	0	0,00
N	0:56	192313	4	4	0	0	0	0	100,0	1	25,00
N	1:19	200033	15	4	1	2	11	8	26,7	0	0,00

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
N	0:48	200537	8	6	0	0	2	0	75,0	0	0,00
N	0:44	201335	5	3	0	1	2	0	60,0	2	40,00
N	0:50	202134	20	3	1	3	17	10	15,0	0	0,00
N	2:14	172946	71	7	9	6	64	9	9,9	0	0,00
D	0:54	202954	5	2	3	0	3	0	40,0	2	40,00
N	2:38	181537	73	47	3	1	26	7	64,4	0	0,00
D	0:53	182216	28	2	3	1	26	7	7,1	0	0,00
D	1:15	182617	9	2	0	1	7	2	22,2	0	0,00
N	1:02	183818	14	9	0	1	5	1	64,3	1	7,14
N	0:44	185756	11	0	0	0	11	4	0,0	0	0,00
N	1:27	173827	18	7	3	0	11	1	38,9	1	5,56
D	0:40	190804	0	0	0	0	0	0	0,0	1	1,00
N	0:39	192934	5	3	0	2	2	2	60,0	0	0,00
N	3:22	184528	88	47	13	9	41	7	53,4	0	0,00
N	1:30	185044	9	6	1	0	3	2	66,7	2	22,22
D	1:47	190424	16	11	0	4	5	2	68,8	0	0,00
N	1:57	194530	31	4	3	3	27	5	12,9	1	3,23
N	0:49	195100	7	5	2	0	2	1	71,4	0	0,00
N	1:32	174618	9	8	0	0	1	1	88,9	0	0,00
N	0:53	203130	23	9	6	2	14	0	39,1	0	0,00
N	0:43	205352	19	7	3	4	12	2	36,8	0	0,00
D	1:13	175359	0	0	0	0	0	0	0,0	1	1,00
			706	296	75	72	410	101	41,9	16	2,27

Tabela 5.5: Rezultati nad bazo Researcher's night 30 [29]

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
N	1:17	161749	25	10	6	5	15	4	40,0	0	0,00
D	2:08	173024	7	5	1	1	2	1	71,4	7	100,00
D	0:50	173630	8	2	0	1	6	5	25,0	2	25,00
N	1:33	175943	4	4	0	0	0	0	100,0	9	225,00
N	1:36	181011	7	7	0	0	0	0	100,0	1	14,29
N	1:32	182857	19	15	0	3	4	0	78,9	3	15,79
N	1:45	111716	16	1	2	0	15	6	6,2	0	0,00
N	0:46	183734	12	6	1	2	6	5	50,0	0	0,00
N	2:31	121151	6	2	0	1	4	0	33,3	4	66,67
D	0:18	184632	23	3	2	4	20	9	13,0	0	0,00
N	0:32	185952	11	9	1	0	2	0	81,8	0	0,00
N	1:03	150500	13	10	1	1	3	1	76,9	0	0,00
N	0:42	134306	13	8	1	0	5	3	61,5	0	0,00
N	1:15	191620	31	25	4	1	6	2	80,6	1	3,23
N	2:18	194520	24	19	4	0	5	3	79,2	1	4,17
N	1:28	195901	10	10	0	0	0	0	100,0	7	70,00
N	0:39	200714	4	4	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:44	201130	5	1	1	0	4	3	20,0	3	60,00
N	1:21	203937	0	0	0	0	0	0	0,0	4	4,00
N	1:05	204339	19	14	2	2	5	1	73,7	2	10,53
N	1:15	141144	11	10	1	0	1	0	90,9	3	27,27
N	1:45	210427	13	13	0	0	0	0	100,0	4	30,77
N	1:45	160051	19	15	1	2	4	1	78,9	1	5,26
N	1:28	125304	14	8	2	1	6	1	57,1	0	0,00
N	1:40	133722	10	8	0	2	2	0	80,0	5	50,00
D	1:29	130857	20	11	4	1	9	5	55,0	0	0,00
N	1:17	134925	10	7	2	1	3	1	70,0	0	0,00

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
N	1:18	161141	6	0	0	0	6	2	0,0	0	0,00
N	1:08	142548	18	15	1	1	3	0	83,3	1	5,56
N	1:34	163504	23	18	2	1	5	0	78,3	0	0,00
N	1:54	164703	15	1	3	2	14	1	6,7	4	26,67
D	1:28	164731	30	10	8	4	20	2	33,3	0	0,00
N	1:28	105214	27	18	1	4	9	3	66,7	0	0,00
N	1:08	141058	13	12	1	0	1	0	92,3	0	0,00
N	1:00	172120	11	9	1	1	2	0	81,8	1	9,09
N	1:47	113824	42	34	2	1	8	3	81,0	3	7,14
N	2:32	195612	18	11	3	1	7	1	61,1	2	11,11
N	1:10	144314	12	8	2	1	4	4	66,7	0	0,00
N	1:04	130620	18	18	0	0	0	0	100,0	1	5,56
D	1:26	204644	23	10	5	1	13	4	43,5	3	13,04
N	1:39	133535	9	9	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	2:06	134156	17	13	1	1	4	1	76,5	0	0,00
N	0:40	181133	4	1	1	0	3	3	25,0	0	0,00
N	1:46	160056	11	7	2	0	4	2	63,6	0	0,00
N	1:20	175010	5	4	1	0	1	1	80,0	2	40,00
N	1:38	133821	17	14	2	1	3	2	82,4	1	5,88
N	2:05	185440	1	0	1	0	1	0	0,0	2	200,00
N	0:54	191449	22	22	0	0	0	0	100,0	3	13,64
N	1:41	121842	6	3	1	0	3	3	50,0	1	16,67
N	0:52	192316	21	16	1	2	5	2	76,2	2	9,52
N	1:14	192746	33	28	3	0	5	0	84,8	1	3,03
N	1:42	195001	19	17	1	0	2	2	89,5	3	15,79
N	1:32	133154	14	6	2	1	8	2	42,9	1	7,14
N	2:00	122529	29	24	3	2	5	2	82,8	1	3,45
N	0:51	200204	20	20	0	0	0	0	100,0	3	15,00
N	2:38	122600	95	65	6	11	30	5	68,4	2	2,11

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
D	0:52	201335	13	7	3	1	6	1	53,8	4	30,77
D	1:04	203825	10	4	2	2	6	6	40,0	0	0,00
N	1:47	204844	5	4	1	0	1	0	80,0	1	20,00
N	0:43	211251	12	7	1	3	5	0	58,3	4	33,33
N	1:41	130017	21	7	1	8	14	3	33,3	6	28,57
D	2:10	162458	30	22	6	1	8	3	73,3	1	3,33
N	1:21	161025	17	16	0	0	1	0	94,1	0	0,00
N	2:01	171745	16	13	3	0	3	2	81,2	3	18,75
N	0:53	174355	9	2	0	4	7	3	22,2	2	22,22
D	1:21	181244	12	12	0	0	0	0	100,0	1	8,33
D	1:35	184450	4	3	0	1	1	0	75,0	4	100,00
N	2:20	184654	49	33	10	1	16	8	67,3	3	6,12
N	1:04	190156	12	12	0	0	0	0	100,0	2	16,67
			1143	782	117	84	361	122	68,4	125	10,94

Tabela 5.6: Rezultati nad bazo ZJU [33] s privzetimi nastavitvami

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
D	0:04	000001M_FBN	3	0	0	1	3	1	0,0	0	0,00
N	0:04	000001M_FNN	4	1	1	0	3	1	25,0	0	0,00
D	0:04	000001M_FTN	4	3	1	0	1	0	75,0	0	0,00
N	0:04	000001M_UNN	3	1	0	0	2	0	33,3	0	0,00
D	0:04	000002M_FBN	4	0	0	1	4	1	0,0	0	0,00
N	0:04	000002M_FNN	5	0	1	1	5	2	0,0	0	0,00
D	0:04	000002M_FTN	4	1	0	0	3	3	25,0	0	0,00
N	0:04	000002M_UNN	4	2	0	0	2	1	50,0	0	0,00
D	0:04	000003M_FBN	4	2	1	1	2	2	50,0	0	0,00
N	0:04	000003M_FNN	3	1	2	0	2	2	33,3	0	0,00
D	0:04	000003M_FTN	3	2	1	0	1	0	66,7	0	0,00
N	0:04	000003M_UNN	5	0	0	0	5	0	0,0	0	0,00
D	0:04	000004M_FBN	2	0	0	0	2	2	0,0	1	50,00
N	0:04	000004M_FNN	1	1	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000004M_FTN	1	0	1	0	1	1	0,0	0	0,00
N	0:04	000004M_UNN	2	0	0	1	2	2	0,0	0	0,00
D	0:04	000005M_FBN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000005M_FNN	2	1	0	1	1	0	50,0	0	0,00
D	0:04	000005M_FTN	2	1	1	0	1	0	50,0	0	0,00
N	0:04	000005M_UNN	3	2	0	1	1	0	66,7	0	0,00
D	0:04	000006M_FBN	5	2	0	1	3	0	40,0	0	0,00
D	0:04	000006M_FTN	6	1	0	1	5	2	16,7	0	0,00
N	0:04	000006M_UNN	6	1	1	0	5	0	16,7	0	0,00
D	0:04	000007M_FBN	4	1	0	0	3	0	25,0	0	0,00
N	0:04	000007M_FNN	5	1	2	1	4	0	20,0	0	0,00
D	0:04	000007M_FTN	5	2	1	0	3	0	40,0	0	0,00
N	0:04	000007M_UNN	5	2	1	1	3	0	40,0	0	0,00

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
D	0:04	000008M_FBN	6	2	0	1	4	0	33,3	0	0,00
N	0:04	000008M_FNN	6	2	0	1	4	1	33,3	0	0,00
D	0:04	000008M_FTN	6	4	0	2	2	0	66,7	0	0,00
N	0:04	000008M_UNN	5	3	0	0	2	0	60,0	0	0,00
D	0:04	000009M_FBN	4	0	0	1	4	0	0,0	0	0,00
N	0:04	000009M_FNN	2	1	1	0	1	0	50,0	0	0,00
D	0:04	000009M_FTN	4	0	1	0	4	4	0,0	0	0,00
N	0:04	000009M_UNN	4	2	0	0	2	0	50,0	0	0,00
D	0:04	000010M_FBN	3	0	0	1	3	2	0,0	0	0,00
D	0:04	000010M_FNN	3	1	1	1	2	1	33,3	0	0,00
D	0:04	000010M_FTN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000010M_UNN	3	0	0	0	3	0	0,0	0	0,00
D	0:04	000011M_FBN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000011M_FNN	2	1	0	1	1	0	50,0	0	0,00
D	0:04	000011M_FTN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000011M_UNN	1	0	1	0	1	0	0,0	0	0,00
D	0:04	000012M_FBN	4	2	1	1	2	0	50,0	0	0,00
N	0:04	000012M_FNN	3	3	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000012M_FTN	3	2	0	0	1	1	66,7	0	0,00
N	0:04	000012M_UNN	4	2	0	2	2	0	50,0	0	0,00
D	0:04	000013F_FBN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000013F_FNN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000013F_FTN	2	1	0	0	1	0	50,0	0	0,00
N	0:04	000013F_UNN	3	2	0	0	1	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000014F_FBN	4	3	0	1	1	0	75,0	0	0,00
N	0:04	000014F_FNN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000014F_FTN	4	2	0	1	2	2	50,0	0	0,00
N	0:04	000014F_UNN	3	2	0	0	1	0	66,7	0	0,00
D	0:04	000015F_FBN	2	1	0	0	1	1	50,0	0	0,00
D	0:04	000015F_FNN	2	1	0	0	1	0	50,0	0	0,00

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
D	0:04	000015F_FTN	2	1	0	1	1	0	50,0	0	0,00
N	0:04	000015F_UNN	1	0	1	0	1	1	0,0	0	0,00
D	0:04	000016F_FBN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000016F_FNN	2	1	0	1	1	0	50,0	0	0,00
D	0:04	000016F_FTN	3	0	0	1	3	0	0,0	0	0,00
N	0:04	000016F_UNN	3	0	1	1	3	0	0,0	0	0,00
D	0:04	000017F_FBN	4	0	0	0	4	1	0,0	0	0,00
N	0:04	000017F_FNN	3	2	0	1	1	0	66,7	0	0,00
D	0:04	000017F_FTN	3	1	1	1	2	0	33,3	0	0,00
N	0:04	000017F_UNN	3	1	2	0	2	0	33,3	0	0,00
D	0:04	000018M_FBN	6	0	0	2	6	0	0,0	0	0,00
N	0:04	000018M_FNN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000018M_FTN	5	3	0	1	2	0	60,0	0	0,00
N	0:04	000018M_UNN	5	5	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000019F_FBN	2	1	0	0	1	0	50,0	0	0,00
N	0:04	000019F_FNN	3	1	0	1	2	0	33,3	0	0,00
D	0:04	000019F_FTN	3	0	2	0	3	0	0,0	0	0,00
N	0:04	000019F_UNN	3	3	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000020F_FBN	3	2	0	1	1	0	66,7	0	0,00
N	0:04	000020F_FNN	1	1	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000020F_FTN	3	1	1	0	2	1	33,3	0	0,00
N	0:04	000020F_UNN	3	0	2	0	3	1	0,0	0	0,00
N	0:04	000006M_FNN	4	3	0	1	1	0	75,0	0	0,00
			261	109	29	36	152	37	41,8	1	0,38

Tabela 5.7: Rezultati nad bazo ZJU [33] z uporabo 1,5 standardnega odklona navzgor in 1,8 standardnega odklona navzdol

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
D	0:04	000001M_FBN	3	3	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000001M_FNN	4	3	0	0	1	0	75,0	0	0,00
D	0:04	000001M_FTN	4	4	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000001M_UNN	3	1	0	0	2	0	33,3	0	0,00
D	0:04	000002M_FBN	4	0	0	1	4	1	0,0	0	0,00
N	0:04	000002M_FNN	5	2	0	1	3	2	40,0	0	0,00
D	0:04	000002M_FTN	4	2	0	0	2	2	50,0	0	0,00
N	0:04	000002M_UNN	4	2	1	0	2	1	50,0	0	0,00
D	0:04	000003M_FBN	4	2	1	1	2	2	50,0	0	0,00
N	0:04	000003M_FNN	3	1	2	0	2	2	33,3	0	0,00
D	0:04	000003M_FTN	3	2	1	0	1	0	66,7	0	0,00
N	0:04	000003M_UNN	5	0	0	0	5	0	0,0	0	0,00
D	0:04	000004M_FBN	2	0	0	0	2	2	0,0	1	50,00
N	0:04	000004M_FNN	1	1	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000004M_FTN	1	1	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000004M_UNN	2	0	0	1	2	2	0,0	0	0,00
D	0:04	000005M_FBN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000005M_FNN	2	1	0	1	1	0	50,0	0	0,00
D	0:04	000005M_FTN	2	1	1	0	1	0	50,0	0	0,00
N	0:04	000005M_UNN	3	3	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000006M_FBN	5	4	0	1	1	0	80,0	0	0,00
D	0:04	000006M_FTN	6	4	2	0	2	2	66,7	0	0,00
N	0:04	000006M_UNN	6	6	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000007M_FBN	4	4	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000007M_FNN	5	5	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000007M_FTN	5	5	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000007M_UNN	5	4	0	0	1	0	80,0	0	0,00

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
D	0:04	000008M_FBN	6	6	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000008M_FNN	6	5	0	0	1	1	83,3	0	0,00
D	0:04	000008M_FTN	6	6	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000008M_UNN	5	4	1	0	1	0	80,0	0	0,00
D	0:04	000009M_FBN	4	3	0	1	1	0	75,0	0	0,00
N	0:04	000009M_FNN	2	1	1	0	1	0	50,0	0	0,00
D	0:04	000009M_FTN	4	0	0	2	4	4	0,0	0	0,00
N	0:04	000009M_UNN	4	3	0	0	1	0	75,0	0	0,00
D	0:04	000010M_FBN	3	1	1	0	2	2	33,3	0	0,00
D	0:04	000010M_FNN	3	2	0	1	1	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000010M_FTN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000010M_UNN	3	0	0	0	3	0	0,0	0	0,00
D	0:04	000011M_FBN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000011M_FNN	2	1	0	1	1	0	50,0	0	0,00
D	0:04	000011M_FTN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000011M_UNN	1	0	1	0	1	0	0,0	0	0,00
D	0:04	000012M_FBN	4	4	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000012M_FNN	3	3	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000012M_FTN	3	2	1	0	1	0	66,7	0	0,00
N	0:04	000012M_UNN	4	3	0	1	1	0	75,0	0	0,00
D	0:04	000013F_FBN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000013F_FNN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000013F_FTN	2	0	1	1	2	0	0,0	0	0,00
N	0:04	000013F_UNN	3	2	1	0	1	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000014F_FBN	4	4	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000014F_FNN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000014F_FTN	4	1	0	3	3	2	25,0	0	0,00
N	0:04	000014F_UNN	3	2	0	0	1	0	66,7	0	0,00
D	0:04	000015F_FBN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	Zr	PP %	NP	NP %
D	0:04	000015F_FNN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000015F_FTN	2	1	0	1	1	0	50,0	1	50,00
N	0:04	000015F_UNN	1	0	0	0	1	1	0,0	1	100,00
D	0:04	000016F_FBN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000016F_FNN	2	1	1	0	1	0	50,0	0	0,00
D	0:04	000016F_FTN	3	2	0	1	1	0	66,7	0	0,00
N	0:04	000016F_UNN	3	3	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000017F_FBN	4	1	1	0	3	0	25,0	0	0,00
N	0:04	000017F_FNN	3	3	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000017F_FTN	3	2	1	0	1	0	66,7	0	0,00
N	0:04	000017F_UNN	3	2	1	0	1	0	66,7	0	0,00
D	0:04	000018M_FBN	6	4	1	1	2	0	66,7	0	0,00
N	0:04	000018M_FNN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000018M_FTN	5	5	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000018M_UNN	5	5	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000019F_FBN	2	2	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000019F_FNN	3	1	0	2	2	0	33,3	0	0,00
D	0:04	000019F_FTN	3	3	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000019F_UNN	3	2	0	1	1	0	66,7	0	0,00
D	0:04	000020F_FBN	3	3	0	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000020F_FNN	1	1	0	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000020F_FTN	3	1	1	1	2	1	33,3	0	0,00
N	0:04	000020F_UNN	3	1	1	0	2	1	33,3	0	0,00
N	0:04	000006M_FNN	4	3	1	0	1	0	75,0	0	0,00
			261	182	23	23	79	30	69,7	3	1,15

5.2 Metoda ujemanja s predlogo odprtega očesa

Tabela 5.8: Rezultati nad bazo Talking face [22]

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
N	3:19	talking	61	40	4	1	21	65,6	2	3,28

Tabela 5.9: Rezultati nad bazo Eye blink 8 [32]

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
N	6:23	26122013_224532	88	68	6	4	20	77,3	11	12,50
N	3:01	26122013_230654	31	17	4	3	14	54,8	2	6,45
N	8:54	26122013_223310	38	27	4	4	11	71,1	30	78,95
N	5:13	26122013_230103	65	40	5	7	25	61,5	4	6,15
N	5:57	27122013_151644	30	29	0	0	1	96,7	27	90,00
N	2:52	27122013_152435	41	27	1	0	14	65,9	2	4,88
N	5:04	27122013_153916	72	63	2	2	9	87,5	6	8,33
D	2:44	27122013_154548	43	39	1	0	4	90,7	7	16,28
			408	310	23	20	98	76,0	89	21,81

Tabela 5.10: Rezultati nad bazo Basler5 [31]

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
N	2:40	poli1person2	32	26	0	0	6	81,2	41	128,12
N	1:21	poli1person6	33	29	2	0	4	87,9	13	39,39
D	1:54	poli1person10	99	85	1	2	14	85,9	4	4,04
N	2:11	poli1person26	81	73	4	0	8	90,1	8	9,88
N	1:42	poli1person21	55	47	0	0	8	85,5	9	16,36
			300	260	7	2	40	86,7	75	25,00

Tabela 5.11: Rezultati nad bazo Researcher's night 15 [29]

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
D	2:44	181912	7	3	0	0	4	42,9	2	28,57
N	1:21	203647	17	12	1	1	5	70,6	0	0,00
N	1:18	204021	5	4	0	1	1	80,0	1	20,00
N	1:01	205740	3	1	0	1	2	33,3	2	66,67
D	1:31	210519	3	0	0	0	3	0,0	1	33,33
N	2:50	211047	52	34	2	5	18	65,4	0	0,00
N	1:40	175102	52	33	2	4	19	63,5	0	0,00
N	1:24	175705	8	1	0	0	7	12,5	1	12,50
N	1:03	180329	13	11	0	1	2	84,6	1	7,69
N	0:57	180951	22	8	2	3	14	36,4	0	0,00
N	2:14	211637	12	3	1	2	9	25,0	6	50,00
N	2:23	183209	6	3	2	0	3	50,0	2	33,33
N	0:37	185953	11	0	1	2	11	0,0	0	0,00
N	0:38	191626	7	2	0	2	5	28,6	3	42,86
N	0:56	192313	4	3	1	0	1	75,0	0	0,00
N	1:19	200033	15	4	6	0	11	26,7	1	6,67
N	0:48	200537	8	3	0	0	5	37,5	0	0,00
N	0:44	201335	5	2	0	1	3	40,0	1	20,00
N	0:50	202134	20	3	1	8	17	15,0	0	0,00
N	2:14	172946	71	6	3	3	65	8,5	0	0,00
D	0:54	202954	5	1	2	0	4	20,0	3	60,00
N	2:38	181537	73	24	5	9	49	32,9	0	0,00
D	0:53	182216	28	0	5	0	28	0,0	1	3,57
D	1:15	182617	9	0	5	0	9	0,0	0	0,00
N	1:02	183818	14	6	2	2	8	42,9	1	7,14
N	0:44	185756	11	0	1	1	11	0,0	0	0,00
N	1:27	173827	18	5	2	0	13	27,8	2	11,11

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
D	0:40	190804	0	0	0	0	0	0,0	2	2,00
N	0:39	192934	5	5	0	0	0	100,0	0	0,00
N	3:22	184528	88	44	7	2	44	50,0	1	1,14
N	1:30	185044	9	7	1	0	2	77,8	0	0,00
D	1:47	190424	16	12	2	0	4	75,0	1	6,25
N	1:57	194530	31	12	1	7	19	38,7	1	3,23
N	0:49	195100	7	3	2	1	4	42,9	2	28,57
N	1:32	174618	9	6	0	0	3	66,7	0	0,00
N	0:53	203130	23	0	1	0	23	0,0	0	0,00
N	0:43	205352	19	6	6	1	13	31,6	0	0,00
D	1:13	175359	0	0	0	0	0	0,0	0	0,00
			706	267	64	57	439	37,8	35	4,96

Tabela 5.12: Rezultati nad bazo Researcher's night 30 [29]

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
N	1:17	161749	25	15	5	4	10	60,0	3	12,00
D	2:08	173024	7	1	3	0	6	14,3	13	185,71
D	0:50	173630	8	6	0	0	2	75,0	8	100,00
N	1:33	175943	4	4	0	0	0	100,0	5	125,00
N	1:36	181011	7	3	1	0	4	42,9	4	57,14
N	1:32	182857	19	8	0	4	11	42,1	3	15,79
N	1:45	111716	16	0	0	0	16	0,0	0	0,00
N	0:46	183734	12	10	1	0	2	83,3	3	25,00
N	2:31	121151	6	2	0	2	4	33,3	8	133,33
D	0:18	184632	23	1	1	0	22	4,3	0	0,00
N	0:32	185952	11	4	5	0	7	36,4	2	18,18
N	1:03	150500	13	10	0	0	3	76,9	6	46,15
N	0:42	134306	13	1	2	5	12	7,7	1	7,69
N	1:15	191620	31	19	4	3	12	61,3	0	0,00
N	2:18	194520	24	15	4	1	9	62,5	7	29,17
N	1:28	195901	10	4	3	1	6	40,0	8	80,00
N	0:39	200714	4	0	1	2	4	0,0	0	0,00
N	0:44	201130	5	1	1	0	4	20,0	6	120,00
N	1:21	203937	0	0	0	0	0	0,0	6	6,00
N	1:05	204339	19	8	6	1	11	42,1	3	15,79
N	1:15	141144	11	7	3	0	4	63,6	2	18,18
N	1:45	210427	13	11	0	1	2	84,6	9	69,23
N	1:45	160051	19	14	3	0	5	73,7	2	10,53
N	1:28	125304	14	6	4	1	8	42,9	6	42,86
N	1:40	133722	10	7	0	0	3	70,0	4	40,00
D	1:29	130857	20	9	1	7	11	45,0	4	20,00

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
N	1:17	134925	10	7	0	0	3	70,0	4	40,00
N	1:08	142548	18	14	1	2	4	77,8	3	16,67
N	1:18	161141	6	1	0	1	5	16,7	2	33,33
N	1:34	163504	23	20	1	2	3	87,0	3	13,04
N	1:54	164703	15	2	3	1	13	13,3	5	33,33
D	1:28	164731	30	14	2	1	16	46,7	5	16,67
N	1:28	105214	27	10	7	1	17	37,0	3	11,11
N	1:08	141058	13	11	0	0	2	84,6	4	30,77
N	1:00	172120	11	8	0	2	3	72,7	4	36,36
N	1:47	113824	42	34	1	2	8	81,0	3	7,14
N	2:32	195612	18	6	6	1	12	33,3	12	66,67
N	1:10	144314	12	10	0	0	2	83,3	4	33,33
N	1:04	130620	18	15	2	1	3	83,3	3	16,67
D	1:26	204644	23	9	5	0	14	39,1	3	13,04
N	1:39	133535	9	5	0	3	4	55,6	5	55,56
D	2:06	134156	17	13	1	1	4	76,5	5	29,41
N	0:40	181133	4	3	0	0	1	75,0	2	50,00
N	1:46	160056	11	7	1	0	4	63,6	2	18,18
N	1:20	175010	5	4	0	0	1	80,0	6	120,00
N	1:38	133821	17	12	2	0	5	70,6	6	35,29
N	2:05	185440	1	0	0	1	1	0,0	7	700,00
N	0:54	191449	22	12	3	1	10	54,5	5	22,73
N	1:41	121842	6	5	0	1	1	83,3	1	16,67
N	0:52	192316	21	6	8	0	15	28,6	3	14,29
N	1:14	192746	33	16	6	5	17	48,5	1	3,03
N	1:42	195001	19	14	2	0	5	73,7	0	0,00
N	1:32	133154	14	11	0	1	3	78,6	2	14,29
N	2:00	122529	29	19	2	0	10	65,5	2	6,90
N	0:51	200204	20	16	1	0	4	80,0	2	10,00

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
N	2:38	122600	95	40	19	8	55	42,1	2	2,11
D	0:52	201335	13	5	0	3	8	38,5	6	46,15
D	1:04	203825	10	3	0	0	7	30,0	4	40,00
N	1:47	204844	5	3	1	0	2	60,0	4	80,00
N	0:43	211251	12	9	1	0	3	75,0	5	41,67
N	1:41	130017	21	1	5	3	20	4,8	6	28,57
D	2:10	162458	30	18	2	2	12	60,0	5	16,67
N	1:21	161025	17	14	1	1	3	82,4	5	29,41
N	2:01	171745	16	15	0	1	1	93,8	3	18,75
N	0:53	174355	9	6	0	1	3	66,7	3	33,33
D	1:21	181244	12	10	1	2	2	83,3	6	50,00
D	1:35	184450	4	4	0	0	0	100,0	1	25,00
N	2:20	184654	49	16	1	3	33	32,7	7	14,29
N	1:04	190156	12	8	4	0	4	66,7	3	25,00
			1143	622	137	83	521	54,4	280	24,50

Tabela 5.13: Rezultati nad bazo ZJU [33] s privzetimi nastavitvami

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
D	0:04	000001M_FBN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
N	0:04	000001M_FNN	4	3	0	0	1	75,0	0	0,00
D	0:04	000001M_FTN	4	4	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000001M_UNN	3	1	0	0	2	33,3	0	0,00
D	0:04	000002M_FBN	4	2	0	0	2	50,0	0	0,00
N	0:04	000002M_FNN	5	2	0	1	3	40,0	0	0,00
D	0:04	000002M_FTN	4	3	0	0	1	75,0	0	0,00
N	0:04	000002M_UNN	4	0	0	0	4	0,0	0	0,00
D	0:04	000003M_FBN	4	4	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000003M_FNN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000003M_FTN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000003M_UNN	5	0	0	0	5	0,0	0	0,00
D	0:04	000004M_FBN	2	0	0	1	2	0,0	0	0,00
N	0:04	000004M_FNN	1	1	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000004M_FTN	1	1	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000004M_UNN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000005M_FBN	2	1	0	1	1	50,0	0	0,00
N	0:04	000005M_FNN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000005M_FTN	2	0	0	0	2	0,0	0	0,00
N	0:04	000005M_UNN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000006M_FBN	5	0	0	0	5	0,0	0	0,00
D	0:04	000006M_FTN	6	3	2	0	3	50,0	0	0,00
N	0:04	000006M_UNN	6	3	0	1	3	50,0	0	0,00
D	0:04	000007M_FBN	4	3	1	0	1	75,0	0	0,00
N	0:04	000007M_FNN	5	2	0	2	3	40,0	0	0,00
D	0:04	000007M_FTN	5	5	0	0	0	100,0	0	0,00

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
N	0:04	000007M_UNN	5	2	0	0	3	40,0	0	0,00
D	0:04	000008M_FBN	6	2	0	3	4	33,3	0	0,00
N	0:04	000008M_FNN	6	0	3	0	6	0,0	0	0,00
D	0:04	000008M_FTN	6	1	1	1	5	16,7	0	0,00
N	0:04	000008M_UNN	5	4	1	0	1	80,0	0	0,00
D	0:04	000009M_FBN	4	0	0	1	4	0,0	0	0,00
N	0:04	000009M_FNN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000009M_FTN	4	1	0	0	3	25,0	0	0,00
N	0:04	000009M_UNN	4	4	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000010M_FBN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000010M_FNN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000010M_FTN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000010M_UNN	3	0	0	0	3	0,0	0	0,00
D	0:04	000011M_FBN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000011M_FNN	2	1	0	0	1	50,0	0	0,00
D	0:04	000011M_FTN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000011M_UNN	1	1	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000012M_FBN	4	3	1	0	1	75,0	0	0,00
N	0:04	000012M_FNN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000012M_FTN	3	0	0	0	3	0,0	1	33,33
N	0:04	000012M_UNN	4	2	0	1	2	50,0	0	0,00
D	0:04	000013F_FBN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000013F_FNN	2	0	0	0	2	0,0	0	0,00
D	0:04	000013F_FTN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000013F_UNN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000014F_FBN	4	3	0	1	1	75,0	0	0,00
N	0:04	000014F_FNN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000014F_FTN	4	1	0	1	3	25,0	0	0,00
N	0:04	000014F_UNN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000015F_FBN	2	1	0	0	1	50,0	0	0,00
D	0:04	000015F_FNN	2	1	0	0	1	50,0	0	0,00

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
D	0:04	000015F_FTN	2	1	0	0	1	50,0	0	0,00
N	0:04	000015F_UNN	1	1	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000016F_FBN	2	1	0	0	1	50,0	0	0,00
N	0:04	000016F_FNN	2	0	0	0	2	0,0	0	0,00
D	0:04	000016F_FTN	3	0	1	0	3	0,0	0	0,00
N	0:04	000016F_UNN	3	0	0	0	3	0,0	0	0,00
D	0:04	000017F_FBN	4	2	0	0	2	50,0	0	0,00
N	0:04	000017F_FNN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000017F_FTN	3	0	0	0	3	0,0	0	0,00
N	0:04	000017F_UNN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000018M_FBN	6	3	0	0	3	50,0	0	0,00
N	0:04	000018M_FNN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000018M_FTN	5	1	1	0	4	20,0	0	0,00
N	0:04	000018M_UNN	5	3	0	1	2	60,0	0	0,00
D	0:04	000019F_FBN	2	0	0	0	2	0,0	0	0,00
N	0:04	000019F_FNN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000019F_FTN	3	0	0	0	3	0,0	0	0,00
N	0:04	000019F_UNN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000020F_FBN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000020F_FNN	1	1	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000020F_FTN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000020F_UNN	3	0	0	0	3	0,0	0	0,00
N	0:04	000006M_FNN	4	4	0	0	0	100,0	0	0,00
			261	140	11	15	121	53,6	1	0,38

Tabela 5.14: Rezultati nad bazo ZJU [33] z uporabo dveh standardnih odklonov navzdol

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
D	0:04	000001M_FBN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
N	0:04	000001M_FNN	4	3	0	0	1	75,0	0	0,00
D	0:04	000001M_FTN	4	4	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000001M_UNN	3	1	0	0	2	33,3	0	0,00
D	0:04	000002M_FBN	4	2	0	0	2	50,0	0	0,00
N	0:04	000002M_FNN	5	4	0	0	1	80,0	0	0,00
D	0:04	000002M_FTN	4	3	0	0	1	75,0	0	0,00
N	0:04	000002M_UNN	4	0	0	0	4	0,0	0	0,00
D	0:04	000003M_FBN	4	4	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000003M_FNN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000003M_FTN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
N	0:04	000003M_UNN	5	0	0	0	5	0,0	0	0,00
D	0:04	000004M_FBN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000004M_FNN	1	1	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000004M_FTN	1	1	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000004M_UNN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000005M_FBN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000005M_FNN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000005M_FTN	2	0	0	0	2	0,0	0	0,00
N	0:04	000005M_UNN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000006M_FBN	5	0	0	0	5	0,0	0	0,00
D	0:04	000006M_FTN	6	5	0	0	1	83,3	0	0,00
N	0:04	000006M_UNN	6	5	0	0	1	83,3	0	0,00
D	0:04	000007M_FBN	4	4	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000007M_FNN	5	5	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000007M_FTN	5	5	0	0	0	100,0	0	0,00

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
N	0:04	000007M_UNN	5	4	0	0	1	80,0	0	0,00
D	0:04	000008M_FBN	6	6	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000008M_FNN	6	6	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000008M_FTN	6	5	0	0	1	83,3	0	0,00
N	0:04	000008M_UNN	5	5	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000009M_FBN	4	3	0	0	1	75,0	0	0,00
N	0:04	000009M_FNN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000009M_FTN	4	2	0	0	2	50,0	0	0,00
N	0:04	000009M_UNN	4	4	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000010M_FBN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000010M_FNN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000010M_FTN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000010M_UNN	3	0	0	0	3	0,0	0	0,00
D	0:04	000011M_FBN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000011M_FNN	2	1	0	0	1	50,0	0	0,00
D	0:04	000011M_FTN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000011M_UNN	1	1	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000012M_FBN	4	3	0	0	1	75,0	0	0,00
N	0:04	000012M_FNN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000012M_FTN	3	2	0	0	1	66,7	1	33,33
N	0:04	000012M_UNN	4	4	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000013F_FBN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000013F_FNN	2	0	0	0	2	0,0	0	0,00
D	0:04	000013F_FTN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000013F_UNN	3	2	0	1	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000014F_FBN	4	4	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000014F_FNN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000014F_FTN	4	0	0	3	4	0,0	0	0,00
N	0:04	000014F_UNN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000015F_FBN	2	1	0	0	1	50,0	1	50,00
D	0:04	000015F_FNN	2	1	0	0	1	50,0	0	0,00

O	D	Datoteka	A	O	L	D	Z	PP %	NP	NP %
D	0:04	000015F_FTN	2	1	0	0	1	50,0	0	0,00
N	0:04	000015F_UNN	1	1	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000016F_FBN	2	1	0	0	1	50,0	0	0,00
N	0:04	000016F_FNN	2	1	0	0	1	50,0	0	0,00
D	0:04	000016F_FTN	3	1	1	0	2	33,3	1	33,33
N	0:04	000016F_UNN	3	0	0	0	3	0,0	0	0,00
D	0:04	000017F_FBN	4	2	0	0	2	50,0	0	0,00
N	0:04	000017F_FNN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000017F_FTN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000017F_UNN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000018M_FBN	6	6	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000018M_FNN	2	2	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000018M_FTN	5	4	0	1	1	80,0	0	0,00
N	0:04	000018M_UNN	5	5	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000019F_FBN	2	0	0	0	2	0,0	0	0,00
N	0:04	000019F_FNN	3	2	0	0	1	66,7	0	0,00
D	0:04	000019F_FTN	3	0	0	0	3	0,0	1	33,33
N	0:04	000019F_UNN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000020F_FBN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000020F_FNN	1	1	0	0	0	100,0	0	0,00
D	0:04	000020F_FTN	3	3	0	0	0	100,0	0	0,00
N	0:04	000020F_UNN	3	0	0	0	3	0,0	0	0,00
N	0:04	000006M_FNN	4	4	0	0	0	100,0	0	0,00
			261	190	1	5	71	72,8	4	1,53